This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

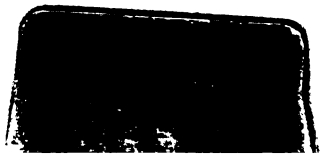
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

UC-NRLF
B 3 878 781



THE LIBRARY
OF
THE UNIVERSITY
OF CALIFORNIA

PRESENTED BY
PROF. CHARLES A. KOFOID AND
MRS. PRUDENCE W. KOFOID

v. d. 05. K

Preis: brosch. 5 M. 50 Pf., geb. 6 M. 50 Pf.

DAS KLEINE PFLANZENPHYSIOLOGISCHE PRAKTIKUM.

ANLEITUNG
ZU
PFLANZENPHYSIOLOGISCHEN EXPERIMENTEN
FÜR STUDIERENDE
UND LEHRER DER NATURWISSENSCHAFT

VON

DR. W. DETMER,
PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT JENA.

MIT 163 ABBILDUNGEN.

ZWEITE, VIELFACH VERÄNDERTE AUFLAGE.

JENA,
VERLAG VON GUSTAV FISCHER.
1905.

Uebersetzungsrecht vorbehalten.

K-QK711
D4
1905
Bot.
Lib.

SEINEM VEREHRTEN KOLLEGEN

HERRN PROF. DR. E. STAHL

IN

FREUNDSCHAFTLICHER GESINNUNG

ZUGEEIGNET

VOM

VERFASSER.

M373989

Vorwort zur ersten Auflage.

Für denjenigen, der sich eingehender mit dem Studium der Pflanzenphysiologie beschäftigen will, genügt es heute nicht mehr, allein Vorlesungen über diese Disziplin zu hören und die Literatur durchzuarbeiten: nicht minder wichtig erscheint es vielmehr, den Studierenden auf unseren Universitäten und anderen Hochschulen durch die Einrichtung eines Praktikums Gelegenheit zu experimentellen Arbeiten zu bieten. Für andere naturwissenschaftliche Fächer ist die Bedeutung der Uebungen längst allgemein anerkannt; in der Pflanzenphysiologie beginnt man erst damit, das einführende Praktikum als ein notwendiges Erfordernis für ein erfolgreiches Studium der wunderbaren Lebenserscheinungen der Gewächse zu betrachten und demselben gebührende Aufmerksamkeit zu widmen. Das vorliegende Buch, kein einfacher Auszug aus der 2. Auflage meines „Pflanzenphysiologischen Praktikums", sondern ein unter besonderer Berücksichtigung der Bedürfnisse der Studierenden neu bearbeitetes Werk, stellt sich die Aufgabe, der Förderung der bezeichneten Bestrebungen zu dienen.

Aber es ist noch eine zweite Aufgabe ins Auge gefaßt worden.

Im botanischen Schulunterricht muß immer noch mehr, als dies seither geschehen, Gewicht auf die Lebenserscheinungen der Gewächse gelegt werden. Freilich, genaues Beschreiben und Bestimmen der Pflanzenformen, zumal in Verbindung mit dem Zeichnen, haben hohen Wert, denn das Beobachtungsvermögen und der ästhetische Sinn der Schüler können durch solche Beschäftigung wesentlich entwickelt werden. Aber die rein systematische Behandlung der Botanik, wie diese namentlich früher so beliebt in der Schule war, genügt heute nicht mehr. Der gesamte botanische Schulunterricht, der hoffentlich bald auch in den Oberklassen der höheren Schulen die ihm gebührende Berücksichtigung erfahren wird, muß vielmehr durchdrungen und getragen werden von biologischen Gesichtspunkten, und in einem um so höheren Maße sollte dies geschehen,

je mehr er sich auf der Oberstufe seinem Abschluß nähert. Dann erst kann der botanische Schulunterricht seine volle, so außerordentliche Bedeutung für die Geistesbildung unserer Jugend gewinnen. Erst dann wird er in der Hand des erfahrenen und kenntnisreichen Lehrers zu einem Mittel allerersten Ranges für Verstandes- und Herzensbildung des Schülers, und erst dann kann für ein tieferes Verständnis der großartigen Zusammenhänge zwischen der anorganischen Natur und der Organismenwelt eine sichere Grundlage geschaffen werden (Darstellung von Lebensgemeinschaften auf der Oberstufe). Auch ermöglicht eine in Verbindung mit botanischen Exkursionen und physiologischen Experimenten durchgeführte biologische Betrachtungsweise der Pflanzenwelt die Verknüpfung des Unterrichtes in der Botanik mit demjenigen in anderen Disziplinen, z. B. mit dem so sehr wichtigen Unterricht in der Geographie, der Geologie, Zoologie, Chemie (vergl. Register unter „Pflanzenstoffe") und Physik.

Die Behandlung der Biologie (Oekologie) fordert aber, abgesehen von der Kenntnis der Pflanzenformen, vor allen Dingen Berücksichtigung der Zellenlehre, Anatomie und Physiologie. Diese letztere wird in der Schule nicht, wie auf höheren Lehranstalten, in systematischer Art, sondern in steter, lebendiger Verknüpfung mit den Fragen der Morphologie, Anatomie und Biologie durchgenommen werden müssen. Auf das Experiment ist dabei höchstes Gewicht zu legen. Das vorliegende Buch bietet dem Lehrer nun reichhaltiges Material für seine besondere Aufgabe dar; die Stoffauswahl bleibt aber seinem eigenen Ermessen überlassen.

Daß in der Lehrerschaft tatsächlich ein weitgehendes Interesse für die Förderung des botanischen Schulunterrichtes besteht, bezeugen mancherlei Erscheinungen. Ich erwähne hier nur die in den letzten Jahren viel besprochenen Ferienkurse der Universitäten und die wissenschaftlichen Kurse, welche die Lehrerschaft selbst veranstaltet. Die Botanik hat dabei eine besonders intensive Berücksichtigung erfahren.

In diesen Kursen haben wir es mit herrlichen Blüten unseres Kulturlebens zu tun. In der Lehrerschaft, besonders in dem so energisch aufstrebenden Stande der Volksschullehrer, herrscht eine geradezu leidenschaftliche Sehnsucht nach tieferer Erkenntnis, ein begeistertes wissenschaftliches Streben, ein unvergleichlicher Idealismus, vielfach verbunden mit einem ganz überraschenden Reichtum an Kenntnissen und kraftvollster Betätigung des einzelnen in seinem Wirkungskreise. Alles dies beansprucht höchste Würdigung und Bewunderung.

Die vorliegende Schrift stellt also nach allem, was gesagt wurde, ein Hülfsbuch für Studierende und Lehrer dar, welche pflanzenphysiologische Experimente auszuführen haben.

Jeder Abschnitt wird durch eine sehr knapp gefaßte Darstellung des augenblicklichen Standes der wissenschaftlichen Erkenntnis über die zu berührenden Fragen eingeleitet. Nicht jeder wird meinen bezüglichen Ausführungen in aller Hinsicht beistimmen. Der wissenschaftliche Standpunkt kann ja ein verschiedener sein, um so mehr, als sich die Behandlung fast sämtlicher pflanzenphysiologischer Probleme im vollen Fluß be-

findet. Es ist allein die wichtigste Literatur angegeben worden. Anatomische und ökologische Verhältnisse haben nur insoweit Erwähnung gefunden, wie dies absolut erforderlich erschien oder zwanglos mit Rücksicht auf den Hauptzweck des Buches geschehen konnte. Vielfach mußte auch, dem Charakter der vorliegenden Schrift entsprechend, darauf verzichtet werden, kompliziertere physiologische Fragen in den Kreis der Betrachtung zu ziehen. So sind z. B. Details über enzymatische Prozesse, Einzelheiten der neueren Forschungen über Verwertung des elementaren Stickstoffes seitens der Pflanze, E. Schulzes interessante Studien über die Beziehungen der Eiweißzersetzungsprodukte zu einander nicht behandelt worden.

Für eingehendere botanische Studien seien dem Leser namentlich die folgenden Werke empfohlen: de Bary, Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane der Phanerogamen und Farne, Leipzig 1877; Detmer, Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, Breslau 1883; Detmer, Das pflanzenphysiologische Praktikum, 2. Aufl., Jena 1895; Goebel, Organographie der Pflanzen, Jena 1898—1901; Haberlandt, Physiologische Pflanzenanatomie, 3. Aufl., Leipzig 1904; Kerner, Pflanzenleben, 2. Aufl., Leipzig 1896; Knuth, Handbuch der Blütenbiologie, Leipzig 1898; Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 2. Aufl., Bd. 1, Leipzig 1897, Bd. 2, Leipzig 1904; Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen, Leipzig 1865; Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 2. Aufl., Leipzig 1887; Schimper, Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage, Jena 1898; Solereder, Systematische Anatomie der Dikotyledonen, Stuttgart 1899; Strasburger, Das kleine botanische Praktikum, 4. Aufl., Jena 1902; Strasburger, Noll, Schenck, Karsten, Lehrbuch der Botanik, 7. Aufl., Jena 1905.

Ueber Fragen aus den Gebieten der Physik und Chemie gewähren die Lehr- und Handbücher dieser Disziplinen Aufschluß. Ich verweise den Leser hier nur besonders auf die physikalische Chemie der Zelle und Gewebe von Höber, Leipzig 1902.

Das erwähnte „Handbuch der Pflanzenphysiologie" von Pfeffer, ein Meisterwerk ersten Ranges, in welchem die Probleme unserer Wissenschaft mit erstaunlichem Scharfblick und bewunderungswürdig kritischem Sinn behandelt werden, sei dem Fortgeschritteneren hier nochmals nachdrücklich empfohlen. Die vortrefflichen Werke von Strasburger sind zumal dem Anfänger dringend zu empfehlen.

Den wichtigsten Teil dieses Buches, für den allein auch das Register zusammengestellt worden ist, bildet die in streng systematisch gegliederter Form gegebene Anleitung zur Ausführung der pflanzenphysiologischen Experimente. Befolgt man die gegebenen Anweisungen sehr genau, so wird man sicher zu befriedigenden Resultaten gelangen. Durch viele Angaben gelangen die Erfahrungen zum Ausdruck, welche ich im Laufe langer Jahre bei eigenen Arbeiten und denjenigen meiner Schüler sammeln konnte. Gelingt ein Versuch einmal nicht, so ruhe man bis zur Erzielung eines brauchbaren Ergebnisses nicht. Bei der Ueberwindung von Schwierigkeiten, wie solche z. B. aus der Individualität der Untersuchungsobjekte oder der Ungunst äußerer Umstände erwachsen, lernt man gerade sehr viel. Es ist stets Protokoll über die Bedingungen,

unter denen man arbeitet, und über den Verlauf der Beobachtungen zu führen.

Besonderes Gewicht habe ich auf genaue Beschreibung der Apparate, und sorgfältige Auswahl der für die Experimente empfohlenen Untersuchungsobjekte gelegt. Bei dem Gebrauch dieses Buches wird man finden, daß hierbei nicht nur das im Sommer zur Verfügung stehende Material, sondern ebenso dasjenige Berücksichtigung erfahren hat, welches im Winter zweckmäßig verwandt werden kann. (Man vergl. das Register unter „Winterversuche".)

Manchem, der dies Buch benutzt, wird die Anleitung zu den physiologischen Experimenten zu wenig, einem anderen vielleicht zu viel bieten. Ich konnte die Auswahl nur unter Zugrundelegung meiner Erfahrungen, und indem ich ein gewisses Taktgefühl walten ließ, treffen.

Nach demjenigen zu urteilen, was ich in dem seit Jahren von mir an der Universität Jena geleiteten pflanzenphysiologischen Praktikum gesehen habe, erscheint es am zweckmäßigsten, die Anfänger zu veranlassen, im ersten Kursus vor allen Dingen die unter 1 und 2, 5 a und b, 6, 10, 12, 14 a, 16 a und b, 17, 18, 19 a, 20 d und f, 21 a, 25 a, 27, 32, 33, 34, 35, 39, 40, 41, 44 a, 50, 54, 55, 59, 61, 63, 64, 65, 66, 73, 75, 76, 78, 80, 81, 86, 88, 89, 96, 98, 99, 103, 105, 106, 108, 109, 111, 114, 116, 122, 123, 124, 128, 142, 144, 149, 150, 152, 154, 157, 160, 161, 173 a und d, 174, 178, 181, 183, 184, 185, 187, 188 b, 195 a, 200, 201, 202, 205, 208 a und e, 210 b, c, d, e und f, 211, 212, 213, 214, 218, 219, 226 a, 227, 232, 235, 238, 239, 245, 247, 256, 258, 259, 260, angegebenen Experimente anzustellen. Ist damit eine allgemeine Orientierung erzielt, so gehe ich in einem zweiten Semester zu einem neuen Kursus über, der ebenfalls unter Zuhülfenahme dieses Buches durchzuführen ist. Es handelt sich in diesem zweiten Kursus um genaue quantitative Verfolgung der Lebensprozesse der Pflanzen. Namentlich dürften die unter 14 g und h, 19 c und d, 20 e und g, 21 b, 22, 23, 24, 29, 30, 46, 60, 67, 68, 69, 82, 83, 87, 93, 104, 115, 117, 118, 119, 121, 135, 137, 163, 173 e, 186, 188 a, 195 b, 196, 197, 199, 207, 209, 210 a, 215, 224, 231, 243, 252, 253, 254, 255, 261 erwähnten Experimente Interesse beanspruchen.

Die Pflanzenphysiologie hat die Aufgabe, uns mit den Lebenserscheinungen der Gewächse und deren Ursachen bekannt zu machen.

Alle Lebenstätigkeit des Organismus erwächst aus dem sich in den protoplasmatischen Gebilden der Zellen vollziehenden Stoff- und Energiewechsel.

Im Anschluß an Spencer können wir sagen, daß das Leben auf einer sich unter dem Einfluß bestimmter äußerer Umstände geltend machenden Veränderung der chemischen Konstitution und der Struktur des Protoplasmas beruht, ohne daß dasselbe dabei seine spezifische Natur einbüßt. Jene Veränderungen werden nämlich unter normalen Verhältnissen zumeist wieder durch Regenerationsprozesse ausgeglichen, und damit ist der Fortgang des Lebens gesichert.

Im Lebensvorgange besteht sehr allgemein eine qualitative sowie quantitative Disproportionalität zwischen den von außen auf das Plasma einwirkenden Kräften einer- und den durch dieses vermittelten Leistungen des Organismus andererseits (Sachs). Die Mehrzahl der Lebensvorgänge trägt also den Charakter von Auslösungsprozessen (Pfeffer), die wir mit Rücksicht auf das besondere Substrat (Protoplasma), in welchem sie sich vollziehen, als Reizvorgänge bezeichnen. Der erzielte Reizerfolg ist immer in erster Linie bestimmt durch die chemische Konstitution und die Struktur des Plasmas, und daher wird verständlich, daß die Reaktionen, selbst bei unverändert bleibenden äußeren Umständen, je nach den besonderen (z. B. auch ererbten) Dispositionen der Zellen, ihrem Entwickelungszustande, den Korrelationen zwischen den einzelnen Organen eines Individuums und je nach der selbstregulatorischen Lenkung seitens des Protoplasmas, ganz verschiedenartig ausfallen können.

Bei der Behandlung physiologischer Probleme ist ein vitalistischer Standpunkt abzulehnen. Freilich erscheint die Erforschung der Lebensvorgänge mit ganz außerordentlichen Schwierigkeiten verknüpft, und unsere derzeitige Einsicht in das Getriebe des Lebens ist äußerst beschränkt. Indessen hindert alles dies nicht, einen mechanistischen Standpunkt festzuhalten. Ein solcher besitzt nicht allein hohen heuristischen Wert, sondern kann ebenso von anderweitigen Gesichtspunkten aus gerechtfertigt werden.

Ich bin der Ansicht, daß die Schwierigkeiten, welche sich dem wirklichen Verständnis der Vorgänge in der unbelebten Natur und überhaupt dem Verständnis des wahren Wesens kausalen Geschehens entgegenstellen, heute vielfach völlig unterschätzt werden. Damit im Zusammenhang steht dann oft, wie psychologisch verständlich sein dürfte, eine Ueberschätzung der Schwierigkeiten der Lebensprobleme.

Wenn ein Stein zu Boden fällt, eine chemische Verbindung entsteht oder eine Kristallbildung erfolgt, so können wir die stattfindenden Vorgänge im besten Falle genau nach Maß und Zahl beschreiben; wirkliche Einsicht in das Wesen der Prozesse haben wir absolut nicht. (Hume, Kirchhoff, Mach.) Solche Einsicht zu gewinnen, wird uns infolge der Unzulänglichkeit menschlichen Erkenntnisvermögens vielleicht auch niemals möglich sein.

In dem Walten jener Kräfte, welche die unbelebte Natur beherrschen, liegen die größten Rätsel verborgen. Diese nämlichen Kräfte, indem unter ihrem Einfluß ein besonderes Substrat (Protoplasma) aufgebaut und erhalten wird, lenken auch das so überaus verwickelte, wunderbare Getriebe des Lebens.

Jena, Ende Februar 1903.

W. Detmer.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die Entwickelung der Pflanzenphysiologie erfolgt heute in einem lebhaften Tempo. Daher war es, trotzdem die zweite Auflage des vorliegenden Buches der ersten schnell folgt, zunächst erforderlich, die jeden Abschnitt „einleitenden Darstellungen“ in mancher Beziehung zu verändern oder zu erweitern. Ebenso haben die „Anleitungen zur Ausführung der pflanzenphysiologischen Experimente“ die erforderlichen Verbesserungen erfahren. Fast sämtliche Experimente, welche angegeben werden, sind von mir selbst oder von meinen Schülern im Praktikum ausgeführt worden. Es gilt dies für die vorliegende Auflage in einem noch erhöhteren Masse als für die erste.

Sehr wertvoll war es für mich, daß ich die Vorlesungen über Pflanzenphysiologie von Jost und ebenso den lezten Teil der nunmehr vollendeten Pflanzenphysiologie von Pfeffer bei der Bearbeitung dieser Auflage benutzen konnte.

Da ich im Begriff stehe, eine Studienreise nach Java anzutreten, hat sich Herr Dr. Detto, Assistent am botanischen Institut in Jena, bereit erklärt, die Revision der Druckbogen vorzunehmen. Ich spreche dem genannten Herrn hierfür verbindlichsten Dank aus.

Jena, Anfang August 1904.

W. Detmer.

Berichtigung.

Infolge eines Versehens bei der Korrektur ist an einigen Stellen die Formel für den salpetersauren Kalk Ca_2NO_3 geschrieben worden; es muß heißen $Ca(NO_3)_2$.

Inhaltsübersicht.

Erster Teil.

Physiologie der Ernährung.

Erster Abschnitt.

Die Nährstoffe der Pflanzen.

I. Der Assimilationsprozeß.

	Seite
1. Vorbereitung des Untersuchungsmaterials für Experimente mit Hülfe der Methode der Wasserkultur . .	4
2. Nährstofflösung	5
3. Vorsichtsmaßregeln bei Handhabung der Methode der Wasserkultur	7
4. Experimente mit Salix fragilis und Wasserkultur im Winter	8
5. Kulturversuch im Dunkeln und Ernährungstätigkeit des grünen Blattes	8
6. Nervatur der Blätter	9
7. Anatomischer Bau des Blattes . .	10
8. Stengel und Blattstiele	11
9. Durchleuchtung der Pflanzengewebe	11
10. Die Chlorophyllkörper	12
11. Chlorophyllgehalt äußerlich nicht grün erscheinender Pflanzenteile .	13
12. Chlorophyllfarbstoff	14
13. Das Absorptionsspektrum und die Fluoreszenz des Chlorophyllfarbstoffes	15
14. Entstehung des Chlorophyllfarbstoffes	17
15. Zersetzung des Chlorophyllfarbstoffes	21
16. Sauerstoffproduktion bei der Assimilation	21
17. Beeinflussung der Sauerstoffproduktion assimilierender Pflanzen durch äußere Umstände	23
18. Der makro- und mikroskopische Nachweis von Stärke in den Assimilationsorganen	25
19. Zucker und Stärke als Assimilationsprodukte der Pflanzen	26
20. Abhängigkeit der Stärkebildung bei der Assimilation von äußeren Bedingungen	27
21. Die Spaltöffnungen und der Assimilationsprozeß	30
22. Spezifische Assimilationsenergie .	32

II. Entstehung der Eiweißstoffe.

23. Versorgung niederer Organismen mit Stickstoff	35
24. Bacillus Radicicola und die Papilionaceen als Stickstoffsammler . .	36
25. Salpetersäure als Nahrungsmittel höherer Pflanzen	37
26. Nitrobakterien	37
27. Nachweis der Salpetersäure im Wasser und in Pflanzen	38
28. Nitratzersetzung durch organische Säuren	38
29. Vorkommen und Verhalten des Calciumoxalates in der Pflanze . .	39
30. Verarbeitung der Nitrate . . .	40

III. Die Aschenbestandteile.

	Seite		Seite
31. Rohaschengehalt der Pflanzen	42	36. Entbehrlichkeit des Siliciums und des Natriums	44
32. Aschenanalyse	42	37. Unentbehrlichkeit des Kaliums, des Phosphors und des Eisens für die Pflanze	44
33. Eisennachweis im Samen	43	38. Mineralstoffbedürfnis der Pilze	45
34. Spektroskopischer Nachweis des Kaliums, Natriums, Lithiums und Calciums	43		
35. Mineralstoffbedürfnis höh. Pflanzen	44		

IV. Organische Verbindungen als Pflanzennahrungsmittel.

39. Die Mycorrhiza der Pflanzen	47	44. Bakterien	50
40. Penicilliumkulturen	48	45. Flechten	51
41. Mucorkulturen	49	46. Experimente mit Insectivoren (Drosera rotundifolia)	51
42. Niedere Organismen des Bodens	49		
43. Saccharomyceskulturen	50		

Zweiter Abschnitt.

Die Molekularkräfte der Pflanzen.

I. Die wichtigsten organisierten Bestandteile der Pflanzenzellen.

47. Cellulosemembran	54	52. Reservecellulose	56
48. Cuticula	54	53. Amyloid	56
49. Korkgewebe	54	54. Stärkekörner	56
50. Verholzte Membranen	55	55. Protoplasmatische Gebilde der Pflanzen	57
51. Gelose	55		

II. Zerstörung der Molekularstruktur.

56. Mechanische Eingriffe	62	61. Tötung der Pflanzen durch zu hohe Temperaturen	66
57. Austrocknen	62	62. Einwirkung von Giften auf die Pflanzen	68
58. Wirkung der Elektrizität	62		
59. Einwirkung niederer Temperatur	64		
60. Eisbildung in gefrierenden Pflanzen	65		

III. Elementare Molekularvorgänge.

63. Imbibition und Quellung	71	66. Turgor und Plasmolyse	76
64. Diffusion und Endosmose	73	67. Isotonische Koeffizienten	77
65. Diosmotische Eigenschaften der Zellhaut und des Protoplasmas	74	68. Die Größe der Turgorkraft	78
		69. Temperaturzustand der Gewächse	79

IV. Gasbewegungen in der Pflanze.

70. Gasdiffusion	82	75. Wegsamkeit der Gefäße für Gase (Transpiration der Gase)	84
71. Gasdiosmose	82	76. Die Intercellularen	84
72. Geringe Durchlässigkeit des Korkes für Gase, die unter Druck stehen	83	77. Lenticellen	85
73. Geringe Durchlässigkeit der Holzmembranen für Gase	83	78. Spaltöffnungsapparate	87
74. Das Poroskop	83	79. Positiver Gasdruck in der Pflanze	89
		80. Negativer Gasdruck in der Pflanze	89

V. Wasser- und Mineralstoffaufnahme seitens der Pflanzen.

81. Wurzelhaare	92	85. Bewegungserscheinungen an Pflanzenteilen infolge von Wasseraufnahme derselben	94
82. Korrosionserscheinungen	93	86. Quellung der Samen und Früchte	95
83. Aufnahme verdünnter Nährlösungen seitens der Pflanze	93	87. Die Wasseraufnahme der Moose	97
84. Wasseraufnahme der Laubblätter	94		

VI. Wasserbewegung in der Pflanze.

	Seite
88. Wurzeldruck	103
89. Experimente mit Freilandpflanzen	104
90. Thermometer, Thermostaten und Thermoregulatoren	105
91. Beeinflussung durch äußere Umstände	106
92. Experimente mit Birken	106
93. Periodizität des Wurzeldruckes	107
94. Die Ursachen des Wurzeldruckes und verwandter Erscheinungen	108
95. Blutungsdruck von Stammgebilden	108
96. Hydathoden	109
97. Nektarien	110
98. Methoden zur Bestimmung der Transpirationsgröße der Pflanzen	110
99. Anwendung der Kobaltprobe	114
100. Experimente mit Tilia und Salix	115
101. Experimente mit Syringa	115
102. Beeinflussung der Transpiration durch äußere Umstände	116
103. Wasserleitung im Holz und Ringelungsversuche	116
104. Die Wasserleitung erfolgt im Lumen der trachealen Elemente	117
105. Beweglichkeit des Wassers im Holz	118
106. Die Transpiration als Ursache von Wasserbewegungen	118
107. Physikalische Experimente über Wasserbewegung	119
108. Geschwindigkeit der Wasserbewegung in der Pflanze	120
109. Welken der Pflanzen	121

Dritter Abschnitt.

Stoffwechselprozesse im vegetabilischen Organismus.

I. Verhalten stickstoffhaltiger Verbindungen.

110. Einige Eiweißstoffe der Pflanzen	124
111. Makro- und mikrochemische Eiweißreaktionen	124
112. Pepsin und Peptone	125
113. Nuclein	125
114. Nachweis des Asparagins	126
115. Das Verhalten des Asparagins in den Pflanzen	126

II. Der Atmungsprozeß.

116. Experimente zur allgemeinen Orientierung	130
117. Methode zur Bestimmung der bei intramolekularer und normaler Atmung der Pflanzen produzierten Kohlensäure	133
118. Kohlensäureproduktion bei normaler und intramolekularer Atmung der Pflanzen	137
119. Sauerstoffaufnahme bei der Atmung	140
120. Gärungsversuche mit Saccharomyces cerevisiae	141
121. Anaëroben	142
122. Wärmeentwickelung und Phosphoreszenz	142

III. Die stickstofffreien plastischen Stoffe.

123. Stärke als Reservestoff und Bestimmung derselben	146
124. Glykose	147
125. Rohrzucker	148
126. Dextrine	148
127. Inulin	148
128. Vorkommen der Diastase in den Pflanzen und Wirkungsweise des Fermentes	149
129. Beeinflussung der Diastasewirkung	149
130. Auflösung der Stärkekörner durch Diastase	150
131. Entstehung der Diastase in den Zellen höherer Pflanzen	150
132. Die Pflanzenfette	151
133. Die Reaktion der Fette	152
134. Verhalten der Fette bei der Keimung der Samen	153
135. Die Keimung der Samen von Phaseolus multiflorus	154
136. Die Keimung von Triticum vulgare	155
137. Quantitative Untersuchungen über die Keimung des Weizens	157
138. Auftreten von Zucker bei der Keimung des Mais	158
139. Verhalten des Fettes bei der Keimung von Cucurbita	158
140. Süßwerden der Kartoffelknollen	159
141. Das Reifen der Früchte und Samen	159

IV. Nebenprodukte (Sekrete und Exkrete).

	Seite		Seite
142. Nachweis organischer Säuren in der Pflanze	162	146. Aetherische Oele und Harze	165
143. Verhalten der organischen Säuren bei den Crassulaceen	163	147. Gummiarten und Pflanzenschleime	166
144. Gerbstoffe	164	148. Nachweis von Alkaloiden und anderen Stoffen in der Pflanze	166
145. Farbstoffe	164	149. Nebenprodukte als Schutzmittel der Pflanze gegen Tiere	167

V. Stoffwanderung.

150. Experimente mit Blättern	170	154. Die Siebröhren und ihre Funktionen	173
151. Experimente mit Zweigen	171	155. Der Milchsaft	175
152. Ringelungsversuche	172	156. Stoffakkumulation	175
153. Leitscheiden	173		

Zweiter Teil.

Physiologie des Wachstums und der Reizbewegungen.

Vierter Abschnitt.

Das Wachstum.

I. Einige Eigenschaften wachsender Pflanzenteile.

Seite

157. Dehnbarkeit und Elastizität wachsender Pflanzenteile 178
158. Biegsamkeit wachsender Pflanzenteile 178
159. Erschütterungskrümmungen . . 178
160. Längsspannung 178
161. Querspannung 179
162. Erhöhung der Spannungsintensität durch Wasserzufuhr 180

II. Turgor und Wachstum.

163. Relationen zwischen Wachstum und Turgorausdehnung der Gewebe . 181
164. Beeinflussung des Dickenwachstums durch Druckkräfte 182
165. Kontraktion der Wurzeln . . . 182
166. Wirkung der Plasmolyse . . . 182

III. Allgemeines über den Wachstumsprozeß der Pflanzen.

167. Vegetationspunkte 185
168. Versuche zur Veranschaulichung des Prinzips der kleinsten Oberflächen 185
169. Kambium und Dickenwachstum . 186
170. Nebenwurzeln 187
171. Terminale, basale und interkalare Vegetationszonen 187

IV. Die inneren Wachstumsbedingungen.

172. Vorbereitung des Untersuchungsmaterials für manche Beobachtungen über Wachstumsvorgänge und Auftragen von Marken auf Pflanzenteile 190
173. Die große Wachstumsperiode . . 192
174. Wachtumsgeschwindigkeit . . . 194
175. Chloroformwirkung auf das Wachstum 194
176. Wachstumsenergie 195
177. Torsionen 195
178. Einige spontane Nutationserscheinungen 195
179. Circumnutationen 197
180. Exotropismus der Wurzeln . . 197
181. Der Zeiger am Bogen 197
182. Das horizontale Meßmikroskop . 198
183. Experiment mit dem Meßmikroskop 199
184. Keimung der Pollenkörner . . 199

V. Die notwendigen Wachstumsbedingungen.

185. Das Stoffbedürfnis wachsender Pflanzen 201
186. Der Wassergehalt der Pflanzen und das Wachstum 202
187. Das Sauerstoffbedürfnis aërober Pflanzen 202
188. Die Beeinflussung des Wachstums durch Temperaturverhältnisse . 203
189. Die Jahresperiode der Pflanzen . 205
190. Beeinflussung von Pflanzenteilen im Zustande der Ruheperiode durch Aetherwirkung 206

VI. Einfluß der Beleuchtungsverhältnisse auf das Wachstum.

Seite

191. Experimente mit Fagus . . . 208
192. Experimente mit Hyacinthus . . 208
193. Experimente mit Blättern . . . 208
194. Experimente mit Kartoffelknollen 209
195. Etiolierungserscheinungen . . . 209
196. Ursachen des Etiolements der Internodien 211
197. Ursachen des Etiolements der Blätter 212
198. Einfluß farbigen Lichtes auf das Wachstum 213
199. Der retardierende Einfluß des Lichtes auf das Wachstum . . 213
200. Wachstum im Freien 213

Fünfter Abschnitt.

Die Reizbewegungen.

I. Bewegungen des von der Zellhaut umschlossenen Protoplasmas und freie Bewegungen verschiedener Organismen.

201. Zirkulation und Rotation des Protoplasmas 218
202. Starrezustände des Protoplasmas . 219
203. Asphyxie des Protoplasmas . . . 219
204. Oberflächenspannung als Ursache der Bewegungen lebloser Körper 220
205. Bewegungen der Chlorophyllkörper 221
206. Bewegungen der Schwärmsporen 221
207. Bewegungen der Myxomycetenplasmodien 223

II. Geotropische Erscheinungen.

208. Die positiv geotropischen Krümmungen der Wurzeln 226
209. Spezielleres über geotropische Krümmungen der Wurzeln und deren Wachstum, sowie über die Form der Krümmung 229
210. Der negative Geotropismus der Sproßachsen 231
211. Negativ geotropische Krümmungen der Plumula einiger Gräser . . 234
212. Geotropische Krümmungen an Gelenken der Gräser und anderer Pflanzen 235
213. Diageotropische Erscheinungen . 237

III. Heliotropische Erscheinungen.

214. Heliotropische Kammer und orientierende Versuche 239
215. Spezielleres über heliotropische Krümmungen 241

IV. Der Klinostat und der Zentrifugalapparat.

216. Der Klinostat 244
217. Vorversuch 246
218. Ausschließung heliotropischer Krümmungen 246
219. Ausschließung geotropischer Krümmung 246
220. Autotropismus (Rektipetalität) . 247
221. Ausschließung geotropischer und heliotropischer Krümmungen bei Lichtzutritt 247
222. Heliotropische Krümmungen bei Ausschluß geotropischer . . . 247
223. Eigenwinkel der Nebenwurzeln 1. Ordnung 248
224. Experimente mit Phleum pratense 248
225. Der Zentrifugalapparat 249
226. Experimente mit dem Zentrifugalapparat 251

V. Verschiedene weitere Tropismen.

227. Positiver Hydrotropismus der Wurzeln 252
228. Hydrotropismus von Mucor . . 252
229. Traumatropismus der Wurzeln . 252
230. Wirkung von Kontaktreiz auf Wurzeln (Thigmotropismus) . . 253
231. Rheotropismus 253
232. Aërotropismus der Pollenschläuche 253
233. Chemotropismus d. Pollenschläuche 254

VI. Nyktitropische Bewegungen wachsender Pflanzenteile.

234. Verhalten von Keim- und Laubblättern 255
235. Verhalten der Blüten 256
236. Nachwirkungsbewegungen . . . 256
237. Wirkung von Temperaturveränderungen 257

VII. Das Winden der Schlingpflanzen und Ranken.

Seite

238. Winden des Hopfens und der Bohne (Phaseolus multiflorus) 260
239. Die rotierende Bewegung der Schlingpflanzen 261
240. Die freien Windungen 261
241. Fadenversuch mit Schlingpflanzen 262
242. Vorkrümmung und negativ geotropisches Verhalten der Stengel von Schlingpflanzen 263
243. Klinostatenversuche 263
244. Weitere Beobachtungen über windende Schlingpflanzen . . . 264

Seite

245. Rankenbewegungen von Sicyos . 264
246. Rankenbewegungen von Cyclanthera explodens 266
247. Kontaktreiz und Stoßreiz . . . 266
248. Ursachen der Rankenbewegung . 267
249. Experimente mit Ranken von Vitis vinifera 267
250. Beobachtungen an Ranken von Ampelopsis hederacea (wilder Wein) 267

VIII. Dorsiventralität, Polarität, Korrelationen und Anisotropie im Pflanzenreich.

251. Dorsiventralität 269
252. Polarität 270
253. Korrelationserscheinungen im Pflanzenreich 271
254. Anisotropie der Pflanzenteile . . 272

IX. Die Festigung der Pflanzen.

255. Physikalische Eigenschaften der Stereiden 279
256. Anordnung des mechanischen Gewebes in biegungsfesten Pflanzenteilen 280
257. Anordnung des mechanischen Gewebes in zug- und druckfesten Organen 281

X. Variationsbewegungen.

258. Nyktitropische Bewegungen . . 282
259. Bewegungen durch Stoßreiz . . 285
260. Spontane Variationsbewegungen . 287
261. Starrezustände 287

Bezugsquellen für Apparate, Utensilien, Pflanzenmaterial etc.

(Nur die wichtigsten Apparate und Utensilien finden hier Erwähnung.)

Samen- und Pflanzenmaterial liefern HAAGE und SCHMIDT in Erfurt Durch einen hohen Grad der Keimfähigkeit ausgezeichnet sind auch die Samen, welche Hofgärtner MAURER in Jena liefert.

Rassenreine, stärkefreie, abgepreßte Bier- und Brennereihefen, denen höchstens etwas Eiweißgerinnsel beigemischt ist, bezieht man im Preise von 5 Mk. p. kg aus der Versuchs- und Lehrbrauerei zu Berlin, See- und Torfstr.-Ecke. Nach meiner Erfahrung versetzt zumal die von dort bezogene Brennereihefe PASTEURsche Nährlösung bei ca. 20° C in sehr lebhafte Gärung. Hefereinkulturen in Reagensglas werden von der genannten Versuchsbrauerei für 10 Mk. abgegeben. In vielen Fällen genügt es, die Hefe, welche man benutzen will, selbst zu reinigen. Unterhefe aus einer Brauerei wird in destilliertem und durch Kochen sterilisierten Wasser verteilt. Haben sich die in der Flüssigkeit schwimmenden gröberen Teile abgesetzt, so gießt man die Flüssigkeit, in der die Hefezellen suspendiert sind, ab und stellt sie an einen kühlen Ort. Hat sich die Hauptmasse der Hefe abgesetzt, so gießt man die trübe Flüssigkeit ab, verteilt den Bodensatz abermals in Wasser und dekantiert in angegebener Weise noch etwa 4mal. Die gereinigte Hefe wird nun nochmals in Wasser verteilt, man läßt etwas absetzen und entnimmt der Hefe enthaltenden Flüssigkeit mit Hülfe einer Pipette ein bestimmtes Volumen. An Stelle des zuletzt benutzten Wassers kann man auch unter Umständen eine gewisse Menge der Nährlösung verwenden (PASTEURsche Nährlösung, Bierwürze etc.), die zu den Hefekulturen dienen soll. Kommt es darauf an, verschiedenen Nährlösungsportionen sehr genau die nämliche Hefemenge hinzuzufügen, so tut man gut, die dem Wasser oder der Nährlösung, welche mit der gereinigten Hefe versetzt worden ist, entnommene Flüssigkeitsmenge nochmals in Wasser oder Nährlösung einzutragen, und erst von dieser Flüssigkeit unter fortwährendem Umschütteln mittelst einer Pipette ein bestimmtes Volumen zum Gebrauch abzuheben. In vielen Fällen ist erforderlich, Wasser und Nährstofflösung, in denen man die Hefe bei der Reinigung verteilt, vor dem Gebrauch in einem mit Watteverschluß versehenen Kölbchen durch Kochen zu sterilisieren.

Chemikalien aller Art sind zu beziehen aus der chemischen Fabrik von MERCK (Darmstadt).

Farbstoffe für Mikroskopie liefern Dr. G. GRÜBLER & Co. in Leipzig, Bayrische Straße.

Glycerin-Gelatine von KAISER zur Herstellung von Dauerpräparaten ist ebenfalls von Dr. GRÜBLER zu beziehen.

Desgleichen chinesische Tusche (verflüssigt) nebst feinem Pinsel zum Auftragen von Marken auf Pflanzenteile.

Filtrierpapier, gewöhnliches und schwedisches, liefert Dr. H. GEISSLER Nachfolger F. MÜLLER in Bonn.

Gewöhnliche Körke, Kautschukstopfen, Kautschukschläuche etc. sind zu beziehen aus der Gummifabrik von WALLACH in Cassel. Die Kautschukwaren bewahrt man in einem großen, verschlossenen Glascylinder auf, in welchem noch ein kleines, bis zur Hälfte mit Terpentinöl angefülltes Glas Platz findet. Hauptsache ist immer, die Kautschukwaren im Winter im warmen Zimmer zu halten. So konservierte Kautschukwaren werden nicht spröde und brüchig. Hart gewordene Kautschukwaren kann man wieder gebrauchsfähig machen, wenn man sie einige Zeit lang der Einwirkung von Chloroformdampf aussetzt. Zu dem Zweck gelangen sie nebst einem bis zur Hälfte mit Chloroform angefüllten Gläschen in einen verschließbaren Glascylinder.

Kautschukkörke und Schläuche aus Paragummi von besonders guter Qualität, die auch bei langem Liegen an der Luft kaum hart werden, liefern BENDER & HOBEIN, München.

Platintiegel etc. liefert HERÄUS in Hanau.

Horn- und Porzellangerätschaften aller Art liefern EPHRAIM GREINER in Stützerbach (Thüringen) und ALT, EBERHARDT & JÄGER, Ilmenau.

Glaswaren aller Art (Röhren, Bechergläser, Trichter etc.) liefern ALT, EBERHARDT und JÄGER in Ilmenau (Thüringen) und EPHRAIM GREINER in Stützerbach (Thüringen).

Büretten, Pipetten, Waschflaschen, Gasentwickelungsapparate etc. sind zu beziehen von Dr. R. MUENCKE, Berlin NW., Luisenstraße 58 und ALT, EBERHARDT & JÄGER, Ilmenau.

Excelsiormühlen zum Zermahlen von Samen, Rinden etc. sind zu beziehen von WENDEROTH in Cassel.

Saftpressen und Preßtücher liefern G. WENDEROTH in Cassel und GEISSLER Nachf. F. MÜLLER in Bonn.

Heberbarometer von besonders guter Qualität liefern GEISSLER Nachf. F. MÜLLER in Bonn und ALT, EBERHARDT & JÄGER, Ilmenau. Das Instrument ist zweckmäßig an einem Stativ zu befestigen, welches es ermöglicht, das Barometer, wenn es nicht gebraucht wird, in geneigte Stellung zu bringen. Das Glas bleibt dann da, wo die Ablesungen erfolgen, immer sauber.

Gefäßbarometer in besonders guter Qualität mit Stativ und Thermometer liefert für den Preis von 42 Mk. A. HAAK, Glasbläser in Jena.

Stative aller Art sind zu beziehen von DESAGA in Heidelberg und von ALT, EBERHARDT & JÄGER, Ilmenau. Stative mit Porzellanplatte, besonders geeignet zum Einsenken in Wasser, liefert BÜHLER in Tübingen.

Ein Fernrohr (Kathetometer) für Ablesung bei gasanalytischen Arbeiten ist im Preis von 80—100 Mk. von MUENCKE in Berlin zu beziehen.

Schlitteninduktionsapparate und unpolarisierbare Elektroden etc. sind zu beziehen von R. ROTHE, Universitätsmechaniker in Prag.

Chromsäureelemente und Tauchbatterien liefern Dr. MUENCKE in Berlin (s. Preisverzeichnis) und ALT, EBERHARDT & JÄGER, Ilmenau.

Spektralapparate verschiedener Art sind zu beziehen von der Firma DESAGA in Heidelberg. Auch A. KRÜSS in Hamburg liefert sehr gute Instrumente. Sehr empfehlenswerte Taschenpektroskope mit Skala sind im Preis von 85 Mk. zu beziehen von SCHMIDT & HAENSCH in Berlin, Stallschreiberstraße 4. Ganz vorzüglich ist auch das neue Vergleichspektroskop von ZEISS in Jena, Preis 300 Mk. Absorptionsgefäß mit variabler Dicke der Flüssigkeitsschicht 35 Mk. Polarisationsapparate, an das Mikroskop anzubringende, sind ebenfalls von ZEISS in Jena zu beziehen; Mikrosspektralapparate von W. & H. SEIBERT in Wetzlar und von ZEISS in Jena.

Luftpumpen, Wasserstrahlpumpen, Wasserstrahlgebläse sind zu beziehen von Dr. MUENCKE in Berlin und von ALT, EBERHARDT & JÄGER in Ilmenau. Besonders empfehlenswert ist die ARZBERGERsche Wasserstrahlpumpe, mit Hülfe welcher eine sehr vollständige Evakuierung zu erzielen ist. Der Apparat wird im Preis von etwa 30 Mk. von C. GERHARDT in Bonn geliefert. Auch ist derselbe von Dr. MUENCKE in Berlin und in vorzüglichster Qualität von PAUL BÖHME in Brünn zu beziehen. Ferner empfehle ich sehr nachdrücklich die Wasserstrahlpumpe vom Glasbläser HILDEBRAND in Erlangen. Der kleine Apparat (Preis 2 Mk.) wird mit Hülfe eines sehr dickwandigen Kautschukschlauches oder eines Hanfschlauches an den Ausflußhahn der Wasserleitung befestigt. Die zu erreichende Evakuation ist eine sehr vollkommene.

Wagen für analytische Arbeiten mit einer Tragkraft von 100—200 g und einer Empfindlichkeit von $^1/_{10}$ mg sind zu beziehen von G. KERN in Ebingen (Württemberg) und P. BUNGE in Hamburg (Eilbeck). Preis: 200—300 Mk., heute auch billiger.

Oberschalige Wagen, verhältnismäßig empfindlich, mit Tragkraft von 1—10 kg, liefert Dr. MUENCKE in Berlin. Preis: 18—28 Mk.

Kleine Wassermotoren, direkt an den Ausflußhahn der Wasserleitung mittelst eines Hanfschlauches anzubringen und besonders geeignet, um z. B. Zentrifugalapparate in Bewegung zu setzen, sind zu beziehen von MUENCKE in Berlin.

Thermometer werden geliefert von GREINER & FRIEDRICHS in Stützerbach, EPHRAIM GREINER in Stützerbach, KIRCHNER in Ilmenau, HAAK, Glasbläser in Jena, GEISSLER Nachf. F. MÜLLER in Bonn, ALT, EBERHARDT & JÄGER, Ilmenau. Für genaue Untersuchungen ist es erforderlich, die Thermometer prüfen zu lassen. Diese Prüfungen werden in der physikalisch-technischen Reichsanstalt zu Charlottenburg bei Berlin ausgeführt. Die Prüfung eines Normalthermometers von HAAK in Jena, welche auf meinen Wunsch im physikalischen Institut zu Jena ausgeführt wurde, ergab z. B. folgende Werte. Bei 0° C $- 0{,}10^\circ$, bei $10^\circ \pm 0{,}00^\circ$, bei $20^\circ + 0{,}05^\circ$, bei $30^\circ + 0{,}05^\circ$, bei $40^\circ \pm 0{,}00^\circ$, bei $50^\circ + 0{,}05^\circ$. Die negativen Vorzeichen einer Korrektur bedeuten,

daß die betreffende Größe von der unmittelbar beobachteten abzuziehen ist. Die angegebenen Korrekturen gelten unter der Voraussetzung, daß der Quecksilberfaden sich seiner ganzen Länge nach in der zu messenden Temperatur befindet. Wenn ein Teil des Fadens aus dem Raume, dessen Temperatur gemessen werden soll, herausragt, so tritt zu der abgelesenen und nach den vorstehenden Fehlerangaben berichtigten Temperatur eine Korrektion hinzu, die aus der folgenden Formel berechnet wird:

$$\frac{n\ (t-t')}{6500}$$

worin n die in Graden ausgedrückte Länge des herausragenden Teiles des Quecksilberfadens, t die zu messende Temperatur und t' die mittlere Temperatur des herausragenden Fadens bedeuten. Es genügt in den meisten Fällen, für t' die Temperatur des Arbeitsraumes einzusetzen. Ist diese Temperatur niedriger als die zu messende Temperatur, so ist der gefundene Wert der Temperatur, welche das Thermometer anzeigt, hinzuzuaddieren.

Apparate zum Abdampfen, Destillieren von Wasser und Heizen der Trockenschränke liefern in jeder gewünschten Größe Dr. MUENCKE in Berlin und ALT, EBERHARDT & JÄGER, Ilmenau.

Mikroskope vorzüglicher Qualität sind zu beziehen von C. ZEISS in Jena und von W. & H. SEIBERT in Wetzlar. Ein für die gewöhnlichen Zwecke vollkommen ausreichendes ist z. B. das von ZEISS, Stativ VII mit den Okularen 2, 4 und 5 und den Objektiven B u. D. Preis 173 Mk. Vergrößerung 80—550-fach. Zeichenprisma 21 Mk. Zeichenapparate nach ABBE, bei deren Benutzung man auf horizontaler Fläche zeichnet, 30 und 60 Mk.; Objektmikrometer 10 Mk.; Objektträger und Deckgläser kann man ebenfalls von ZEISS in Jena beziehen und von ALT, EBERHARDT & JÄGER in Ilmenau. Mikroskope von W. & H. SEIBERT in Wetzlar (bis 610-fache Vergrößerung) kosten 99 Mk. Besonders empfehlenswert und für alle Untersuchungen genügend ist das neue Laboratorium-Stativ von ZEISS (Stativ V, 1904). Es ist ausgezeichnet durch einen großen, runden Tisch, Mikrometerschraube, Zahn und Trieb für die grobe Einstellung und eine bequeme Handhabe zum Tragen des Instrumentes. Alle Nebenapparate lassen sich nachträglich anbringen. Preis des Stativs mit Cylinderblenden und Schrank 100 M., mit Okular 2 und 4, Objektiv A und D nebst Revolver 200 M.

Ein für pflanzenphysiologische Untersuchungen sehr empfehlenswerter Zentrifugalapparat ist auf meine Veranlassung vom Mechaniker des physikalischen Instituts zu Jena G. TEGTMEYER konstruiert worden. Der Apparat ist für den Preis von 60 Mk. von der Firma DESAGA in Heidelberg (vergl. Fig. 139) zu beziehen. DESAGA liefert auch den auf meine Veranlassung von TEGTMEYER konstruierten Apparat zur Bestimmung der Dehnbarkeit, Elastizität und Festigkeit von Pflanzenteilen, Preis 35 Mk. (vergl. Fig. 158), ebenso die in Fig. 39 sowie 122 abgebildeten Apparate.

Von E. ALBRECHT, Universitätsmechaniker in Tübingen, können die folgenden Apparate bezogen werden:

Großer Klinostat nach PFEFFER, Preis 320 Mk.

Kleiner Klinostat, Preis 220 Mk.

Auxanometer nach PFEFFER, Preis 320 Mk.

Zeiger am Bogen nach SACHS, Preis 60 Mk.

Apparat zum Registrieren des Saftausflusses nach BARANETZKY, Preis 100 Mk.

Horizontales Meßmikroskop, Preis 125 Mk.

Hebeldynamometer, Preis 15 Mk.

Gaskammer, nach dem Prinzip der ENGELMANNschen, Preis 15 Mk.

Zweispiegeliger Heliostat nach REUSCH, Preis 335 Mk.

WORTMANNS Klinostat ist mit allem Zubehör im Preis von 200 Mk. zu beziehen aus der technischen Anstalt der Gebrüder UNGERER in Straßburg.

Thermostaten, Thermoregulatoren, Gasdruckregulatoren, Gasbrenner liefern Dr. H. ROHRBECK in Berlin, Karlstraße 20a und ALT, EBERHARDT & JÄGER in Ilmenau. Preis der Thermostaten je nach Größe 50—200 Mk. resp. 20 bis 30 Mk. Recht empfehlenswert sind auch die Thermoregulatoren (mit Quecksilber und Amylalkohol gefüllt) vom Glasbläser HAAK in Jena. Preis 8—10 Mk.

Sämtliche Apparate, welche in diesem Buch Erwähnung finden, können bezogen werden aus der mechanischen Werkstätte von DESAGA in Heidelberg und von ALT, EBERHARDT & JÄGER, Ilmenau. Diese Firmen haben es sich zur besonderen Aufgabe gestellt, die Apparate selbst herzustellen oder doch zu beschaffen.

Erster Teil.

Physiologie der Ernährung.

Erster Abschnitt.

Die Nährstoffe der Pflanzen.

I. Der Assimilationsprozess.

Als Assimilation bezeichnet man in der Pflanzenphysiologie jenen Vorgang, welcher in der chlorophyllhaltigen Zelle bei Lichtzutritt zur Produktion stickstofffreier organischer (kohlenstoffhaltiger, verbrennlicher) Substanz aus anorganischem Material führt.

Die Prozesse der Synthese organischer Körper durch die chlorophyllfreien Purpurbakterien und durch die Nitrobakterien (jene ersteren Organismen vollziehen die Synthese vor allem unter dem Einflusse ultraroter Strahlen) sind nicht mit dem Assimilationsvorgange zu identifizieren.

Der Assimilationsprozeß, welcher von der höchsten Bedeutung für den Haushalt der Natur erscheint, wurde namentlich durch die grundlegenden Arbeiten von Bonnet, Ingen-Houss, Senebier, de Saussure, Boussingault, Liebig, Sachs Pfeffer und Engelmann, näher erforscht. Die Assimilation erfolgt nur in chorophyllhaltigen Zellen und unter dem Einflusse des Lichtes; sie ist stets mit einer Verarbeitung von Kohlensäure sowie Wasser und einer Sauerstoffproduktion verbunden. Durch die Assimilation wird der Trockensubstanzgehalt der Pflanzen vergrößert und potentielle Energie, die der aktuellen Energie der Lichtstrahlen entlehnt ist, im Organismus angehäuft.

Als assimilatorisch tätige Apparate der Zellen sind die Chorophyllkörper oder Chloroplasten zu betrachten. Diese lebendigen Zellenbestandteile liegen im Cytoplasma; sie treten in verschiedenen Formen auf und bestehen aus einer eiweißreichen, farblosen Grundmasse sowie dieser eingelagerten Tröpfchen eines ölartigen Körpers, der den Chlorophyllfarbstoff in Lösung enthält. Dieser Farbstoff mit sehr charakteristischen optischen Eigenschaften kann leicht in mindestens zwei Pigmente, in Cyanophyll (wie Czapek auf Grund neuerer Untersuchungen annimmt, ist dies ein sehr kompliziert zusammengesetzter Körper der Lecithingruppe) und Xanthophyll (Körper der Carotingruppe) zerlegt werden (Kraus, Zur Kenntnis d. Chlorophyllfarbstoffe, Stuttgart 1872). Nach neueren Studien von Marchlewski und Schunck sind Xanthophyll sowie Cyanophyll Ge-

mische verschiedener Verbindungen. Auch das Etiolin im Finstern erwachsener Pflanzen gehört der Carotingruppe an. Die Etiolinkörner ergrünen im Licht (zumal sind die weniger brechbaren Strahlen dabei wirksam). Das Ergrünen macht sich nur bei Sauerstoffzutritt und hinreichend hoher Temperatur geltend (Temperaturminimum für Gerstenkeimlinge 4—5° C, Optimum 35° C). Auch die gelb oder orange gefärbten Stoffe in den Chromoplasten der Blüten (Anthoxanthine) gehören zu den Carotinen, nicht aber die im Zellsaft gelösten Stoffe der Anthocyangruppe.

Assimilatorisch sind ebenfalls nicht grün erscheinende Zellen tätig, in denen die Farbe des allerdings vorhandenen Chlorophyllfarbstoffes durch Gegenwart anderer Körper (Phycocyan der blaugrünen Cyanophyceen, Phycoerythrin der roten Florideen, Phycophäin der Fucaceen) verdeckt wird. Ob Körper der Carotingruppe, z. B. Etiolin und Anthoxanthin, bei Lichtzutritt Assimilation vermitteln können, wie Kohl (Unters. über das Carotin, Leipzig 1902) annimmt, ist fraglich. Sicher ist aber ihre assimilatorische Wirksamkeit, wenn überhaupt vorhanden, eine nur geringfügige.

Das eigentliche Organ assimilatorischer Tätigkeit wird bei den höheren Kryptogamen und bei den Phanerogamen durch das grüne Laubblatt repräsentiert. Durch seine flächenförmige Ausbreitung und seine zahlreichen Spaltöffnungen ist dasselbe geschickt, der Atmosphäre reichliche Kohlensäuremengen zu entnehmen. Die Blattnerven sind derartig gruppiert, daß sie allen Teilen des grünen Gewebes leicht Wasser und darin gelöste Mineralstoffe zuführen; zugleich wird durch ihr Vorhandensein und ihre Anordnung das zarte Mesophyll im ausgespannten Zustande erhalten und oft vor dem Einreißen vom Blattrande her bewahrt (Sachs).

Wenn man die bezeichnete wichtige Aufgabe des Laubblattes ins Auge faßt, so erklärt es sich, daß die Pflanze im allgemeinen bestrebt ist, dasselbe recht günstigen Beleuchtungsverhältnissen auszusetzen. Dies wird durch eventuell auftretende helio- oder geotropische Krümmungen der Stengel erzielt, durch bedeutende Streckung der Stammgebilde, z. B. bei hohen Bäumen, durch schirmartige Kronenentwickelung, durch zerstreute Blattstellung (bei dekussierter Stellung der Blätter oft dadurch, daß die Stiele der tiefer stehenden Blätter verlängert sind), durch Horizontalstellung der Blätter.

Aber neben dem gekennzeichneten, im allgemeinen vorhandenen Streben der grünen Pflanzen, das Licht zu erreichen, muß auch auf die Tatsache Rücksicht genommen werden, daß jedes Gewächs auf eine bestimmte optimale Lichtintensität gestimmt ist. Daher die Wahl oder Bevorzugung eines bestimmten Standortes, und daher auch ein bis zu gewissem Grade mögliches Akkommodationsvermögen des Organismus an äußere Bedingungen (Intensität des Lichtes, die nach Ort und Zeit verschieden ist). [Vergl. Schimper, Pflanzengeographie, 1898.]

Viele sehr stark beleuchtete Pflanzen haben Einrichtungen, um die Intensität des Lichtes zu mildern, denn Licht (und Wärme) von zu hoher Intensität zerstören das Chlorophyll und rufen eine zu lebhafte Transpiration hervor, welche auch für die Assimilation insofern nachteilig ist, als durch sie die Stomata, also die Eintrittsstellen der Kohlensäure in das Blatt, geschlossen werden. So zeichnen sich viele Tropenbäume durch den Besitz derber, das Licht energisch reflektierender Blätter aus. Akazien mit Phyllodien stellen diese vertikal. Papilionaceen legen ihre

Blättchen bei scharfer Beleuchtung zusammen. Manche Blätter sind mit einem grauen Haarkleid versehen. Die Chlorophyllkörper nehmen Profilstellung ein, wenn sie von zu intensivem Licht getroffen werden. Sonnenblätter entwickeln reichlicheres Palisadenparenchym als die meist dünneren Schattenblätter; das bezeichnete Gewebe ist so recht hoher Lichtintensität angepaßt, denn zwischen den Zellen desselben sind relativ wenige, die Transpiration fördernde Intercellularen vorhanden, und die Chlorophyllkörper bewahren in den gestreckten Zellen die Profilstellung.

An mehr schattigen Standorten gedeihende Pflanzen sind bestrebt, das schwache Licht, von welchem sie getroffen werden, nach Möglichkeit auszunutzen. Dazu dienen z. B. dem Protonema von Schistostega besondere Beleuchtungsapparate. Viele Pflanzen, z. B. Phaseolus, entwickeln im Schatten Blätter von bedeutenderer Flächenausbildung als im direkten Sonnenlicht. Schattenpflanzen scheinen relativ schwach zu atmen, so daß die produzierte organische Substanz in erheblicherer Menge konserviert wird.

Die Pflanzen entziehen die für die Assimilation erforderliche CO_2 dem Wasser oder der Luft. Diese enthält neben 79 Volumproz. N und 21 Volumproz. O nur 3 Volum. CO_2 in 10000 Volum. Ohne Kohlensäure ist keine Sauerstoffproduktion und überhaupt keine Assimilation möglich. Wenn Crassulaceen im Licht in CO_2-freier Luft O produzieren, so beruht dies nur darauf, daß Licht und höhere Temperatur eine beschleunigte Zersetzung der in jenen Pflanzen vorhandenen Isoäpfelsäure bedingen, und die dabei gebildete CO_2 assimilatorisch verarbeitet wird. Die Blätter höherer Landpflanzen nehmen die CO_2, welche sie verarbeiten, unter gewöhnlichen Umständen fast nur durch die Spaltöffnungen auf (Stahl, Botan. Zeitung, 1894); ein Blatt kann auch beinahe allein die von ihm selbst aus der Luft aufgenommene CO_2 verarbeiten; Zufuhr von CO_2 aus anderen Organen kommt kaum in Betracht. Erhöhung des CO_2-Gehaltes der Luft (bis zu 10 Proz.) fördert die Assimilation; noch weitere Steigerung der CO_2-Menge deprimiert die Assimilationsgröße wieder.

Was die Beeinflussung der Assimilation durch äußere Umstände anbelangt, so ist zunächst auf den Einfluß der Temperatur hinzuweisen. Die Lage der Temperaturminima, -optima und -maxima ist für verschiedene Pflanzen sicher nicht die nämliche. Rubusblätter assimilieren bei 25° C am lebhaftesten; das Temperaturmaximum liegt bei 46° C.

Zunehmende Lichtintensität, etwa bis $^1/_4$ der Intensität des direkten Sonnenlichtes, fördert die Assimilation (Elodea). Höhere Lichtintensität verlangsamt sie wieder, aber noch bei vielfach konzentriertem Sonnenlicht ist Sauerstoffproduktion möglich (Pantanelli). Auch irdisches Licht (Gaslicht, Magnesiumlicht, elektrisches Licht) kann Assimilation hervorrufen.

Die grünen Zellen vermögen unter dem Einfluß sämtlicher sichtbarer Strahlen (nicht der ultraroten und ultravioletten Strahlen) zu assimilieren, jedoch ist die Leistungsfähigkeit der Strahlen von geringerer Brechbarkeit oder größerer Wellenlänge (welche eine Lösung von Kaliumbichromat zu passieren vermögen) erheblich bedeutender als diejenige der übrigen Lichtstrahlen. Engelmann hat mit Hülfe seiner vortrefflichen Bakterienmethode festgestellt, daß Pflanzen (grüne Algen) mit relativ dünner Chlorophyllschicht im roten Licht (zwischen B und C) am stärksten assimilieren. Für grüne Blätter liegt die stärkste Assimilation in Gelb (Draper, Pfeffer). Diese Strahlen werden von den aus mehreren Zell-

schichten bestehenden Blättern in erheblichem Maße absorbiert; ihre Gesamtleistung ist daher hier eine große, während sie in zarten Algen hinter derjenigen des schon von dünner Chlorophyllschicht nahezu völlig absorbierten roten Lichtes zurücktritt (Pfeffer, Bot. Ztg., 1872; Engelmann, Bot. Ztg., 1881 u. 1882). Rote Algen (Florideen) assimilieren am lebhaftesten in einem Licht, welches dem Uebergang von Gelb zu Grün im Spektrum entspricht. Solche Strahlen läßt das Meerwasser, in welchem die Algen leben, noch in ziemlicher Menge passieren, während es die roten Strahlen viel leichter absorbiert.

Wenn in den chlorophyllhaltigen Zellen Anhäufung von Assimilaten eintritt, dann wird damit die Größe der Assimilation herabgemindert. Was aber die Ausgiebigkeit des in Rede stehenden Vorganges anbetrifft, so lehren z. B. Versuche von Sachs, daß 1 qm Blattfläche von Helianthus und Cucurbita in 1 Stunde 1,5—2 g Trockensubstanz produzieren kann.

Als Endprodukte der Assimilation sind nur Kohlehydrate sicher bekannt: Zuckerarten (Hexosen). Die auftretende Stärke (auch wohl Rohrzucker) sind Reservestoffe, d. h. im Ueberschuß angehäufte Assimilate. Zunächst entstehen also bei der Assimilation Monosaccharide; diese können weiterhin zur Bildung von Poly- und Disacchariden Veranlassung geben.

Ueber das Wesen des Assimilationsprozesses, dieses endothermischen Vorganges, sind bis heute nur hypothetische Vorstellungen möglich. Das gesamte Chlorophyllkorn ist aktiv; der Farbstoff als „Sensibilisator". Wahrscheinlich entsteht zunächst aus Kohlensäure und Wasser unter Sauerstoffaustritt Formaldehyd, der dann durch Kondensation in Zucker übergeht (Baeyer). Dieser letztere bildet in einigen Fällen (Allium Cepa etc.) allein das Endprodukt der Assimilation; gewöhnlich dient aber der Zucker zur Erzeugung mehr oder minder großer Stärkemengen. Daß die Assimilation unter Beihülfe des Chlorophyllfarbstoffes nur durch ein freilich vom lebenstätigen Plasma produziertes Ferment vermittelt wird, wie Friedel meint, ist sehr unwahrscheinlich. Näheres bei Molisch, Botan. Zeitung, 1904. (Ueber die Assimilationsprodukte vergl. zumal Sachs, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, Bd. 3, und Arthur Meyer, Botan. Zeitung, 1885. Wichtig sind auch die Studien von Brown und Morris.)

Die außerordentliche Bedeutung des Assimilationsprozesses ist darin zu erblicken, daß durch denselben die Substanzen und Energien, welche die anorganische Natur darbietet, in die für das Leben der grünen Gewächse selbst, der Saphrophyten, Parasiten, Tiere und Menschen geeigneten Formen übergeführt werden. Unter den in der Natur nun einmal gegebenen Bedingungen wäre die Existenz der nicht grünen Organismen ohne das Vorhandensein der chlorophyllhaltigen Pflanzen ausgeschlossen.

1. Vorbereitung des Untersuchungsmaterials für Experimente mit Hülfe der Methode der Wasserkultur.

Die Experimente, welche viele Aufmerksamkeit erfordern, liefern nur dann wirklich schöne Pflanzen, wenn man sie im Sommer ausführt. Als Untersuchungsmaterial verwendet man Mais, Hafer, Bohnen. Wir arbeiten z. B. mit Pferdezahnmais. (Ueber Vorsichtsmaßregeln bei den Kulturen, namentlich bei solchen, die über längere Zeit ausgedehnt werden sollen, vergl. unter 3.) Es kommt zunächst darauf an, das

Trockengewicht der ruhenden Früchte zu ermitteln. Einige der großen Früchte werden auf einer Handmühle zu einem feinen Pulver zerrieben. Etwa 3 g des Pulvers (das Gewicht der Substanz ist genau zu bestimmen) werden in einem Wägegläschen in einem Trockenschrank bei 100° C, bis ein konstantes Gewicht erzielt ist, getrocknet. Der Trockensubstanzgehalt der Maiskörner wird zu etwa 84 Proz. ermittelt.

Den Aschengehalt der Trockensubstanz ermittelt man durch Verbrennen derselben in der Platinschale. Man findet ungefähr 1,5 Proz. Asche (vergl. unter 31).

Für die Kulturversuche, welche angestellt werden sollen, wählen wir einige möglichst vollkommen ausgebildete Früchte aus. Jedes Untersuchungsobjekt wird einzeln gewogen und das Gewicht notiert. Es läßt sich nun, unter Berücksichtigung des Resultates der Trockensubstanz- und Aschebestimmung, der Gehalt an organischer Substanz jedes einzelnen Kornes berechnen. Die Untersuchungsobjekte werden jetzt zum Ankeimen in feuchte Sägespäne gebracht.

Die trockenen Sägespäne feuchtet man in einem größeren, flachen Zinkblechkasten mit destilliertem Wasser mäßig an und schichtet sie, indem sie zwischen den Händen zerrieben werden, zu einem möglichst lockeren Keimbett in großen Blumentöpfen auf. Die Oeffnung am Boden der 15—20 cm Durchmesser besitzenden Töpfe wird zur Drainage mit einer Scherbe bedeckt. In die die Kulturgefäße zu ungefähr $^2/_3$ anfüllenden Späne legt man die Maiskörner derartig hinein, daß die beim Keimen austretenden Wurzeln, ohne Krümmungen auszuführen, gerade nach abwärts wachsen. Ebenso legt man z. B. Samen von Vicia Faba, wie hier gleich bemerkt werden mag, mit nach abwärts gewandter Mikropyle in die Sägespäne; Phaseolussamen gelangen in horizontaler Lage in das Keimbett. Die Untersuchungsobjekte werden noch mit einer ca. 2 cm mächtigen Schicht feuchter Sägespäne locker bedeckt. Am besten ist es, die Kulturgefäße im Warmhaus oder Wärmeschrank (vergl. unter 90) bei 20° C aufzustellen. Die Sägespäne müssen stets hinreichend feucht erhalten werden. Haben die Maiskeimlinge, mit denen wir z. B. experimentieren wollen, abgesehen von der Hauptwurzel und der Plumula, noch einige, mehrere Centimeter lange Nebenwurzeln ausgebildet, so werden sie vorsichtig aus dem Keimbett herausgenommen (früheres Herausnehmen ist nicht zu empfehlen), mit destilliertem Wasser sehr sorgfältig abgespült und mit Hülfe der Methode der Wasserkultur zu weiterer Entwickelung gebracht.

2. Nährstofflösung.

Die Maispflanzen kultivieren wir am besten unter Benutzung von Glascylindern von ca. 4 l Inhalt. Diese Cylinder werden, um dem Mineralstoffbedürfnis der Pflanzen, auf das wir an anderer Stelle eingehend zurückkommen werden, Rechnung zu tragen, nicht mit reinem Wasser, sondern mit Nährstofflösung angefüllt. Eine geeignete Nährstofflösung (nach Knop) erhält man, wenn man auf je 1 l destillierten Wassers die folgenden Mengen der nachstehend aufgeführten Körper benutzt (Abwägen der Stoffe mittelst einer Handwage mit Hornschale genügt vielfach vollkommen):

1,00 g salpetersauren Kalk (Ca_2NO_3),
0,25 „ Chlorkalium (KCl),
0,25 „ schwefelsaure Magnesia ($MgSO_4$),
0,25 „ phosphorsaures Kali (KH_2PO_4).

Der Auflösung dieser Stoffe in dem Wasser werden dann noch einige Tropfen verdünnter Eisenchloridlösung zugefügt, bis die Lösung schwach opalesziert. Bei Demonstrationsversuchen kann man an Stelle des destillierten Wassers Brunnenwasser benutzen.

Zum Verschluß der Oeffnungen der Glascylinder dienen große Korke, die in ihrer Mitte mit einer weiten Bohrung versehen sind. Die Kulturgefäße können auch mit einer runden Holzplatte verschlossen werden, deren Rand etwas über denjenigen der Gefäße herausragt. Das Verschieben des Deckels auf dem Gefäße kann leicht vermieden werden, indem man an der Außenseite des Deckels (von unten her) einige Nägel eintreibt. In der Mitte hat der Deckel ein Loch von 3 cm Durchmesser. Dicht neben dieser Oeffnung befindet sich eine zweite, zur Aufnahme eines nicht zu dicken Stabes, der z. B. einer kultivierten Phaseoluspflanze als Stütze dient. Von der 3 cm weiten Oeffnung läuft eine ca. 2,5 cm breite, offene Rinne zur Peripherie des Deckels. Durch diese Rinne kann die Versuchspflanze leicht ein- und ausgeführt werden. Die Rinne ist mittelst des Holzstückchens zu verschließen, welches zu ihrer Herstellung aus dem Deckel herausgesägt werden mußte (Wortmann). In Fig. 1 ist der Holzdeckel, von oben gesehen, abgebildet.

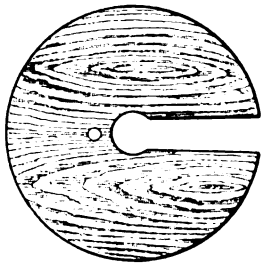


Fig. 1. Holzdeckel eines Wasserkulturgefäßes.

In den Bohrungen der Korke oder Holzdeckel der mit Nährlösung angefüllten Kulturgefäße werden die Keimpflanzen mit Watte befestigt. Jeder Cylinder wird mit einer Keimpflanze beschickt. Die Wurzeln der Untersuchungsobjekte müssen in die Nährlösung hineinreichen; die noch vorhandenen Reservestoffbehälter (Endosperm bei Mais, Kotyledonen bei der Bohne) dürfen nicht in dieselbe eintauchen, müssen aber vor dem Austrocknen geschützt sein. Beim Mais umwickelt man die Basis der Plumula mit Watte und befestigt die Keimlinge dann derartig in den Bohrungen, daß das Endosperm über der Nährlösung von feuchter Luft umgeben ist. Um die Wurzeln vor Lichtzutritt zu schützen, umwickelt man die Cylinder mit mehreren Lagen Flanell oder stellt jedes Kulturgefäß in einen Hohlcylinder von Pappdeckel.

Die mit den Pflanzen beschickten Kulturgefäße stellt man an ein Südfenster, wo die Untersuchungsobjekte direktes Sonnenlicht empfangen.

Fig. 2. Maispflanze, die mit Hülfe der Methode der Wasserkultur zur Entwickelung gebracht worden ist.

Für Ersatz des verdunstenden Wassers ist natürlich häufig durch Zugabe von destilliertem Wasser zur Nährlösung zu sorgen (vergl Fig. 2). Sind die Maispflanzen 8 Wochen alt geworden und haben sie sich kräftig

entwickelt, so nehmen wir sie aus der Nährlösung heraus, lassen sie möglichst schnell an der Sonne trocknen, zerschneiden sie in recht kleine Stücke, zermahlen die Masse und benutzen einen abgewogenen Teil der lufttrockenen Substanz zur Trockensubstanz- und Aschenbestimmung.

Vergleicht man den Gehalt einer Pflanze an organischen Körpern mit demjenigen des Samen, so findet man, daß der erstere das Vielfache des letzteren beträgt. Wir konstatieren also die überaus wichtige Tatsache, daß die grüne Pflanze bei Lichtzutritt im stande sein muß, aus rein anorganischem Material organische Substanz zu produzieren (Assimilation).

3. Vorsichtsmaßregeln bei Handhabung der Methode der Wasserkultur.

Sollen Pflanzen mit Hülfe der Methode der Wasserkultur zur völligen Entwickelung und Fruchtreife gebracht werden oder überhaupt recht schön gedeihen, so sind namentlich folgende Vorsichtsmaßregeln zu beachten.

1) Bei genauen Untersuchungen über das Mineralstoffbedürfnis der Gewächse empfiehlt es sich, die Samen oder Früchte nach dem Anquellen nicht in Sägespänen, sondern zwischen feucht erhaltenem schwedischen Fließpapier anzukeimen. 2) An Stelle der Korke oder Holzplatten verwendet man zweckmäßig vielfach mit geeigneten Oeffnungen versehene Porzellandeckel zum Verschluß der Kulturgefäße. 3) An heißen Sommertagen ist darauf zu achten, daß die Nährlösung keine zu hohe Temperatur annimmt. 4) Besonders in der ersten Zeit nach dem Einsetzen der Pflanzen in die Lösung müssen die Untersuchungsobjekte vor zu intensivem Sonnenlicht geschützt werden. Man tut auch gut daran, die Pflanzen zu dieser Zeit einige Tage lang mit einem Glasgefäß zu bedecken. 5) Sehr förderlich für die Entwickelung der Pflanzen ist es, wenn man die Kulturgefäße so oft wie möglich ins Freie vor das Fenster stellt. 6) Sorgfältig ist darauf zu achten, daß die Nährlösung stets schwach sauer reagiere. Stark saure und alkalische Reaktion sind sehr gefährlich. Zeigt die Lösung eine Neigung zu letzterer, so ist ihr etwas sehr verdünnte Salpetersäure (einige Tropfen einer Mischung von 100 ccm Wasser und 2 ccm Salpetersäure) zuzusetzen. 7) Bei Benutzung von Kulturgefäßen, die 3—4 l fassen, genügt es in der Regel, die Nährlösung 2—3mal im Laufe des Sommers zu erneuern. 8) Die Nährlösung ist ab und zu aufzurühren. 9) Zur Blütezeit der Pflanzen muß dafür gesorgt werden, daß die Befruchtung normal stattfindet. Die Untersuchungsobjekte stehen dann im Freien vor dem Fenster, damit die Uebertragung des Pollens auf die Narbe durch Insekten oder Wind vermittelt werden könne. 10) Sehr empfehlenswert ist es, um den Wurzeln in der Nährlösung stets genügende Mengen Sauerstoffs darzubieten, täglich einmal einen Luftstrom durch dieselbe zu leiten. Dies kann z. B. mittelst eines von Muencke in Berlin zu beziehenden Wasserstrahlgebläses geschehen. Noch einfacher ist folgendes Verfahren. Eine Flasche von ca. 6 l Inhalt wird mit einem doppelt durchbohrten Kautschukkork verschlossen. Die eine Bohrung dient zur Aufnahme eines langen, bis auf den Boden der Flasche reichenden Trichterrohres; in die andere Bohrung ist der kurze Schenkel eines im rechten Winkel gebogenen Glasrohres eingeführt, während über das Ende des längeren Schenkels dieses Rohres ein tief in die Nährlösung eintauchender Kautschukschlauch gezogen wird. Man preßt Luft in die Lösung ein, indem man Wasser in das Trichterrohr eingießt. 11) Es kommt vor, daß das käufliche destillierte Wasser, welches zur Herstellung der Nährlösung dient, Kupfer enthält. Solches

Wasser darf natürlich nicht Verwendung finden. Käuflich erworbenes Wasser ist stets auf Kupfer zu prüfen. 12) Bei Demonstrationsversuchen kann man statt des destillierten Wassers auch filtriertes Regenwasser oder Brunnenwasser benutzen.

4. Experimente mit Salix fragilis und Wasserkultur im Winter.

a) Experimente mit Salix fragilis. Im Winter (Januar oder Februar) wird ein 25 cm langes und 2 cm Durchmesser besitzendes Aststück von Salix fragilis abgeschnitten und mit Hülfe von Watte in der Bohrung des Holzdeckels eines 5 l fassenden Wasserkulturgefäßes befestigt. Das Gefäß enthält zunächst nur Brunnenwasser, in welches das Aststück bis zur Hälfte seiner Länge eintaucht. Ueber den aus dem Gefäß hervorragenden Teil des Untersuchungsobjektes wird ein Glascylinder gedeckt. Nach Verlauf von etwa 4 Wochen, wenn die Knospen im warmen Zimmer getrieben haben und die Wurzeln schon ziemlich lang geworden sind, entfernt man den Glascylinder und ersetzt das Brunnenwasser durch Nährlösung (halb konzentrierte). Nach abermals 4 Wochen gelangt Nährlösung von gewöhnlicher Konzentration in das Kulturgefäß. Jeden Tag erfolgt Ersatz des verdunsteten Wassers, und nach etwa je 2 Monaten Erneuerung der Nährlösung. Im Laufe des Sommers entwickelt sich ein mächtiges Wurzelsystem; es entstehen viele verholzte, reich beblätterte Seitenzweige. Im September ersetzt man die Nährlösung durch Brunnenwasser. Die Pflanze wirft allmählich ihre Blätter ab und geht in den Zustand der Winterruhe über. Im nächsten Frühjahr, nachdem die Weide im Winter im warmen Zimmer verweilt hat, treiben die Knospen wieder aus. Man gibt der Pflanze abermals Nährlösung, so daß sie sich kräftig weiter entwickeln kann.

b) Wasserkultur im Winter. Maispflanzen dienen als Untersuchungsobjekte. Wir verfahren genau nach der unter 1 und 2 angegebenen Methode. Die Kulturgefäße stehen im Gewächshaus. Wenn wir die Versuche 3 Monate lang (November, Dezember, Januar) ausführen, so erzeugen die Pflanzen freilich eine ganze Anzahl Blätter, aber die Produktion an organischer Substanz ist, zumal bei im allgemeinen trübem Wetter, doch nur recht gering. Die geerntete Pflanze wiegt im lufttrockenen Zustande z. B. nur 0,62 g; etwa doppelt so viel wie der Same.

5. Kulturversuch im Dunkeln und Ernährungstätigkeit des grünen Blattes.

a) Kulturversuch im Dunkeln. Einige genau gewogene Maiskörner (Pferdezahnmais) werden in der unter 2 angegebenen Weise in Sägespänen zur Keimung gebracht und dann in Kulturgefäße von etwa 1 l Kapazität eingesetzt, welche gewöhnliche Nährstofflösung enthalten. Die Pflanzen sollen im Dunkeln vegetieren und werden daher unter große Zinkblechcylinder von ca. 50 cm Höhe und 30 cm Durchmesser gestellt. Jedes Kulturgefäß dient nur zur Aufnahme eines Maiskeimlings. Nach 4—5 Wochen werden die völlig etiolierten Maispflanzen geerntet, zerschnitten, schnell durch Liegen im direkten Sonnenlicht in den lufttrockenen Zustand übergeführt, das Material jeder Pflanze für sich bei 100° C getrocknet und der Aschengehalt der Trockensubstanz bestimmt (s. unter 1). Vergleicht man nun den Gehalt der Samen an organischer Substanz mit demjenigen der geernteten Pflanze, so findet man, daß ein Verlust von 40—50 Proz. eingetreten ist. Im Dunkeln findet keine Assimilation statt; es findet vielmehr Trockensubstanzverlust durch Veratmung derselben statt. Bei Lichtzutritt erfolgt freilich ebenfalls Ver-

atmung organischen Materials, aber die dadurch herbeigeführten Verluste werden durch den Assimilationsprozeß mehr als gedeckt, so daß die am Licht vegetierenden Pflanzen fortschreitend an Trockensubstanz zunehmen.

b) Ernährungstätigkeit des grünen Blattes. In das Bodenmaterial von 2 recht großen Blumentöpfen werden je 4 Samen von Helianthus annuus eingelegt. Später beseitigen wir je 3 Pflanzen und erhalten nur die kräftigsten. Die Kulturgefäße stehen im Freien und werden nach Bedürfnis begossen. Von der einen Pflanze *a* schneiden wir die Blätter in dem Maße, wie neue entstehen, ab. Die Kotyledonen lassen wir an der Pflanze und vermeiden jede Verletzung der Endknospe. *b* bleibt intakt und entwickelt sich normal. *a* bleibt in der Ausbildung ihrer Glieder weit hinter *b* zurück, und man ist nur erstaunt über die außerordentliche Lebenszähigkeit des Untersuchungsobjektes. Wenn man weiß, daß die Blätter das organische Material produzieren, dessen die grünen Pflanzen zu ihrer Entwickelung bedürfen, so ist das Ergebnis des Versuches freilich selbstverständlich. Aber dennoch sollte man das Experiment einmal ausführen, um sich so recht handgreiflich die ernährungsphysiologische Bedeutung des Laubblattes vor Augen zu führen. Die Experimente können auch zweckmäßig mit Tropaeolum- oder Maispflanzen angestellt werden.

6. Nervatur der Blätter.

Die Nerven der Blätter, welche in eigentümlicher Anordnung das Mesophyll durchziehen, haben recht verschiedene Funktionen zu erfüllen. Es kommt ihnen die Aufgabe zu, das zarte grüne Gewebe ausgespannt in der Luft zu erhalten, den Blattrand vor Einreißen zu schützen, allen Teilen des Mesophylls durch den Holzteil ihrer Gefäßbündel Wasser sowie darin gelöste Salze zuzuführen und die im Blatt gebildeten Assimilate und Eiweißstoffe abzuleiten.

Die Festigung des Blattrandes wird durch die verschiedenste Art der Gruppierung der Nerven erzielt. Sehr zweckmäßig sind in dieser Beziehung z. B. die Blätter des Tabaks und des Walnußbaumes organisiert, indem hier die Seitennerven nahe am Blattrand in mehreren Bogensystemen verlaufen und Konstruktionen gegeben sind, die an die Pfeiler und Wölbungen einer Brücke erinnern (Sachs). Aehnliche Organisation, und zwar in besonders ausgeprägter Art, bieten die Blätter von Impatiens glanduligera dar. Vergl. Fig. 3.

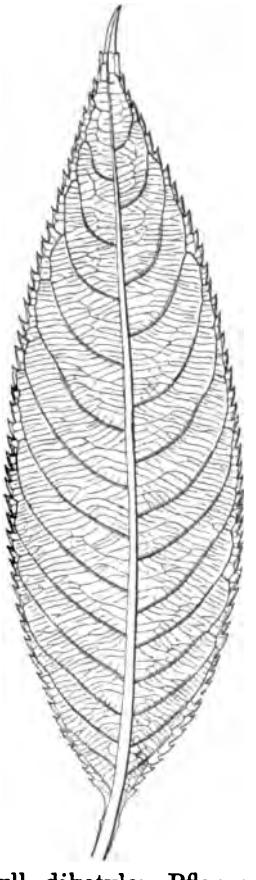


Fig. 8. Nervatur des Blattes von Impatiens glanduligera.

Um die Verteilung der Nerven im Mesophyll dikotyler Pflanzen näher zu verfolgen, werden Blätter von Beta vulgaris oder Impatiens parviflora 10 Minuten lang in kochendem Wasser belassen, dann in erwärmten Alkohol gelegt, bis der Chlorophyllfarbstoff extrahiert ist,

und einige Zeit in eine Auflösung von 5 Teilen Chloralhydrat in 2 Teilen Wasser gebracht. Die Blätter werden auf solche Art in hohem Grade durchsichtig; man kann Stücke derselben ohne weiteres der mikroskopischen Untersuchung unterziehen. Im Mesophyll fällt das Vorhandensein von Zellen auf, welche Kristalle von Calciumoxalat führen (bei Impatiens Raphidenbündel, bei Beta Kristalldrusen). Man sieht den Hauptnerv und die Seitennerven erster und höherer Ordnung, durch die ein vielfach gegliedertes Netzwerk gebildet wird, dessen letzte, sehr feine Zweige zum Teil blind im Mesophyll endigen.

7. Anatomischer Bau des Blattes.

Zur allgemeinen Orientierung über den Bau des Mesophylls stellen wir uns zwischen Holundermark recht dünne Schnitte aus dem Laubblatt von Dahlia variabilis, Vitis vinifera, Berberis vulgaris, Syringa vulgaris, Trifolium pratense, Ilex aquifolium, Fagus silvatica oder Ficus elastica her (vergl. Fig. 4). Besonders günstig für die Untersuchung ist das auch im Winter zur Verfügung stehende Blatt von Ilex. Bei der mikroskopischen Untersuchung sehen wir hier von dem Bau der Gefäßbündel und der Epidermis ab. Es sei nur bemerkt, daß bei Ilex unter der Epidermis der Oberseite (nicht der Unterseite) eine Schicht nicht grünen Wassergewebes liegt, und daß die Epidermis bei Ficus aus 3 Zellschichten besteht, deren Elemente nach innen an Höhe zunehmen. Einige besonders große Zellen der 3. Schicht, welche auch nach innen in das grüne Gewebe hinein vorspringen, führen die bekannten, an kohlensaurem Kalk reichen Cystolithen. Das Mesophyll der Blattoberseite (bei Ficus auch eine Schicht der Unterseite) besteht aus schlauchförmigen, rechtwinklig zur Blattoberfläche gestreckten Zellen, die man als Palisadenzellen bezeichnet, während auf der Blattunterseite das an Intercellularen reiche Schwammparenchym entwickelt ist. Freilich führen auch die Zellen dieses letzteren Parenchyms Chlorophyllkörper, aber doch ist das Palisadenparenchym in erster Linie der assimilatorischen Tätigkeit der Blätter angepaßt.

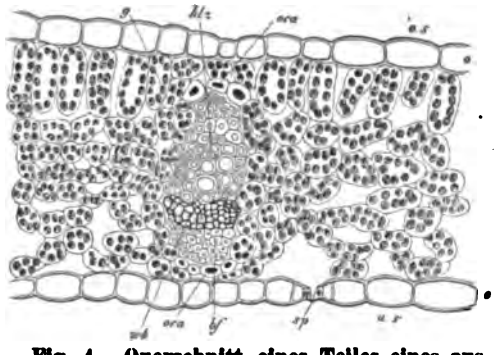


Fig. 4. Querschnitt eines Teiles eines ausgewachsenen Blattes von Trifolium pratense. *o.s* Oberseite, *u.s* Unterseite des Blattes, *o* Epidermis, *sp* Spaltöffnung, *oca* Kristall von Kalkoxalat in der Kristallscheide des Gefäßbündels, *hlz* Holzteil des Gefäßbündels, *g* Gefäße, *wb* Weichbast, *bf* Bastfasern. Vergr. 300. (Nach H. DE VRIES.)

Uebrigens ist keineswegs den Laubblättern aller Pflanzen der Besitz des Palisadenparenchyms eigentümlich. Bei den jungen Blättern von Triticum vulgare z. B. besteht das von den Gefäßbündeln durchzogene Mesophyll seiner ganzen Masse nach aus nahezu gleich gestalteten, im Querschnitt rundlich erscheinenden Zellen. Manche Blätter zeichnen sich auch dadurch aus, daß nicht das gesamte Gewebe zwischen der Epidermis der beiden Blattflächen aus Chlorophyll führenden Zellen besteht. Wenn man Querschnitte aus den Blättern von Iris und Aloë

untersucht, so findet man unter der Epidermis der Blattoberseite sowie der Blattunterseite grünes Gewebe. Die Mittelschicht der Blätter wird aber von saftreichen, nicht grünen oder sehr wenige Chlorophyllkörper führenden Zellen eingenommen.

8. Stengel und Blattstiele.

Manche grüne Stammgebilde armlaubiger Pflanzen müssen eben der geringen Blattentwickelung wegen die assimilatorische Tätigkeit hauptsächlich übernehmen. Die starke Entwickelung des Palisadenparenchyms bei lebhaft assimilatorisch tätigen Stengeln läßt sich sehr schön bei Spartium junceum verfolgen. Das grüne Gewebe unter der Epidermis besteht hier seiner Gesamtmasse nach aus Palisadenzellen (etwa 6 Schichten); es bildet keinen geschlossenen Ring unter der Oberhaut, sondern ist im Umkreis des ganzen Stengels durch Sklerenchymbündel unterbrochen.

Bei reicher Laubentwickelung sind die jungen Stengel der Pflanzen arm an grünem Gewebe. Der Stengel einer Mohnspecies zeigt z. B. im Zentrum das große Mark. Dann folgen die Gefäßbündel, jedes mit dem Holzteil, der breiten Weichbastzone und der Bastfaserregion. Die Markverbindungen zwischen den Gefäßbündeln bestehen aus großen Zellen. Für die Rinde ist das Vorhandensein eines geschlossenen Sklerenchymcylinders besonders charakteristisch; nach außen wird dieser von einer recht dünnen Schicht grünen Gewebes umschlossen, und endlich folgt die Epidermis. Wir untersuchen auch noch einen Querschnitt des Stengels von Chenopodium bonus Henricus und finden, daß unter der Epidermis Kollenchym und grünes Parenchym miteinander abwechseln.

Auch die Blattstiele sind relativ arm an grünem Gewebe. Die Blattstiele von Vitis vinifera z. B. führen unter der Epidermis abwechselnd Kollenchymbündel und grünes Parenchym. Der Querschnitt eines Blattstieles von Begonia manicata zeigt unter der Epidermis einen geschlossenen Kollenchymring, dann großzelliges Grundgewebe, in welchem die Gefäßbündel nicht in einem Kreise angeordnet sind. Nur die peripherischen Schichten des großzelligen Grundgewebes führen wenige, allerdings relativ große Chlorophyllkörner.

9. Durchleuchtung der Pflanzengewebe.

Wir legen ein dünnes grünes Blatt auf ein Stück photographischen Papieres und setzen dasselbe zwischen 2 Glasplatten dem Einfluß des Lichtes aus. Der nicht von dem Blatt bedeckte Teil des Papieres bräunt sich schnell; der bedeckte Teil verändert seine Farbe nicht oder nicht wesentlich, weil der Chlorophyllfarbstoff die stärker brechbaren Lichtstrahlen und die ultravioletten Strahlen so stark absorbiert. Um die Tiefe zu bestimmen, bis zu welcher Licht von einer Intensität, die für das Auge noch wahrnehmbar ist, in Gewebeschichten eindringt, benutzt man nach Sachs das einfache Diaphanoskop (Fig. 5). Der Apparat besteht aus einem aus dicker Pappe gefertigten Rohr *a* von 60 mm Länge und 35 mm Durchmesser, das an einem Ende offen, am anderen Ende bis auf eine kleine Oeffnung von 10 mm Durchmesser geschlossen ist. Ueber dieses Ende des Rohres *a* kann eine zweite Papp-

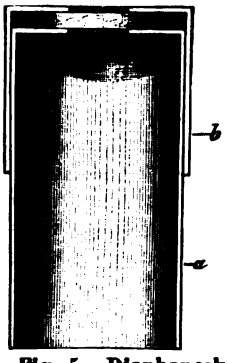


Fig. 5. Diaphanoskop im Längsschnitt dargestellt.

röhre gezogen werden, die ganz ähnlich beschaffen ist, wie das Rohr *a*. Legt man die Untersuchungsobjekte zwischen die Röhren, hält das offene Ende des Rohres *a* dicht an das Auge und richtet den Apparat gegen helle Wolken, so kann man die Durchleuchtungsverhältnisse pflanzlicher Gewebe studieren. 4 übereinander gelegte Blattstücke von Lonicera tatarica, in das Diaphanoskop eingeschaltet, lassen noch deutlich grünes Licht hindurchgehen. Werden 6 Blattstücke eingeschaltet, so nimmt das Auge nach längerem Hineinsehen in den Apparat nur noch einen gelblichen Schein wahr.

Zur Herstellung eines analysierenden Diaphanoskops braucht man das einfache Diaphanoskop nur über den vorderen Teil der Röhre eines Spektroskops zu schieben und dieses, indem man beobachtet, gegen helle Wolken oder den blauen Himmel zu richten. Wir benutzen z. B. Blattstücke von Syringa, oder im Winter Stücke der Primordialblätter von Phaseolus zur Beobachtung. Ein Blattstück von Syringa läßt Rot, Orange, Gelb, Grün und etwas Blau, freilich geschwächt, passieren, absorbiert aber die stärker brechbaren Strahlen völlig. 2 Blattstücke von Syringa lassen nur noch Rot, Orange, Gelb und Grün sehr geschwächt passieren, andere Strahlen nicht. Eine 17 mm dicke Gewebeplatte aus dem Parenchym einer Kartoffelknolle absorbiert die brechbareren Lichtstrahlen völlig, läßt aber Rot, Orange, Gelb, Grün und eine Spur Blau sehr geschwächt passieren. Die Durchleuchtungsverhältnisse der Pflanzen sind von vielen Umständen (Bau der Gewebe, Chlorophyllgehalt derselben, chemische Beschaffenheit der Zellenbestandteile etc.) abhängig; im allgemeinen dringen die weniger brechbaren Lichtstrahlen aber tiefer in das Pflanzengewebe ein als die Strahlen von hoher Brechbarkeit.

10. Die Chlorophyllkörper.

Wir untersuchen eine Zygnemaspecies mikroskopisch. Die Alge kommt in stehenden Gewässern häufiger vor. Jeder Faden besteht aus einer ganzen Reihe von Zellen, und in jeder Zelle gewahren wir 2 grün gefärbte, sternförmig gestaltete Chlorophyllkörper. Wir sehen auch den Zellkern in der Mitte jeder Zelle. Bei Spirogyra finden wir in jeder Zelle der Fäden grüne Spiralbänder, je nach den Arten in verschiedener Anzahl, welche die Chlorophyllkörper repräsentieren. Wenn man einmal in den Besitz guten Spirogyramaterials gelangt ist, so sollte man dasselbe, da wir es bei der Ausführung verschiedener physiologischer Experimente gebrauchen, zu kultivieren suchen. Dies geschieht nach Strasburger am besten, indem man die Algen in nicht zu tiefe, mit Brunnenwasser gefüllte Gläser bringt, deren Wände nicht durchsichtig sind oder durch Ueberkleben mit schwarzem Papier undurchsichtig gewacht werden. Man setzt die Algen hellem, diffusem Licht (nicht direktem Sonnenlicht) aus und wirft von Zeit zu Zeit kleine Torfstückchen, welche, nach dem Auskochen, mit gewöhnlicher Nährstofflösung, wie man sie bei der Ausführung von Wasserkulturversuchen braucht, getränkt sind, in das Wasser.

Sehr häufig sind in stehenden, sowie fließenden Gewässern Arten der Gattung Cladophora, Algen, die rauh anzufühlende, verzweigte Fäden darstellen. Bei stärkerer Vergrößerung sieht man, daß im Wandbelag der Zellen zahlreiche kleine, polygonal erscheinende Chlorophyllkörper vorhanden sind.

In Gewächshäusern, in welchen Farne kultiviert werden, findet man gewöhnlich mit Leichtigkeit an feuchten Wänden oder an den Stämmen

ımfarnen Farnprothallien auf, kleine, grüne, meist herzförmige, bstrat anliegende Gebilde, die wir, nachdem wir sie mit der von ihrer Unterlage abgehoben und mit Wasser abgespült haben, ɜertropfen mikroskopisch untersuchen. Die Prothallien sind bis n medianen Teil einschichtig; sie sind gewöhnlich durch den iner, an ihrem vorderen Ende befindlichen Einbuchtung ausge- und produzieren auf ihrer Unterseite ziemlich lange Wurzel- Für uns sind hier besonders die in den Zellen befindlichen Chlorophyllkörper von Interesse. Schöne Chlorophyllkörper sind den kleinen Blättern von Funaria hygrometrica, einem ver- ı Moose, zu beobachten.

vielen Kryptogamen und den Pflanzen haben die Chlorophyll- linsenförmige, nicht kugelige Wir untersuchen zur weiteren ɾung ein Blatt aus der Knospe lea canadensis (vergl. Fig. 6). ındiges Plasma, das kern- ʾrotoplasma und die von diesem ausgehenden Protoplasma- sowie die Chlorophyllkörper ıht zu sehen. Elodea, auch die von Cladophora, kann man ährend des Winters lebendig wenn man die Pflanzen in wasser bringt, mit dem größere ße angefüllt sind, und diese ɔn Räumen möglichst hellem, Licht aussetzt.

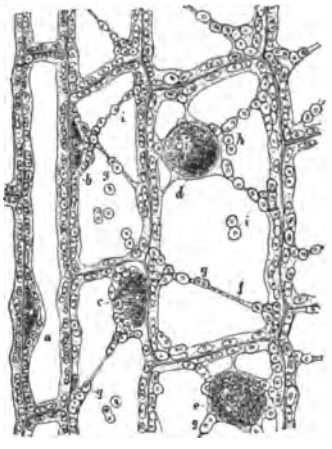


Fig. 6. Einige Zellen aus dem Blatt von Elodea canadensis. *a* bis *e* Zellkerne, *f* Protoplasmabänder, *g* Chlorophyllkörner, zum Teil in Teilung und mit Einschluß von Stärkekörnchen. (Nach KNY.)

rden von der Unterseite eines ablattes die äußeren Zell- ı entfernt, und untersucht man des folgenden lockeren Blatt- , so erblickt man in den nicht ɔn Zellen Chlorophyllkörner, ıh ihre Größe ausgezeichnet sind. Wenn wir Lupinensamen bei ritt zum Keimen bringen, so nehmen die über die Bodenober- ervortretenden Kotyledonen eine grüne Farbe an. Die mikro- ɐ Untersuchung des Querschnittes eines Keimblattes läßt die is, das Grundgewebe, sowie die Gefäßbündel leicht wahrnehmen, len Zellen des Grundgewebes, zumal den peripherisch gelegenen, le relativ große Chlorophyllkörner zu erkennen.

tter aus der Knospe von Elodea oder Farnprothallien werden ʾaktion des Chlorophyllfarbstoffes längere Zeit in Alkohol liegen und dann auf dem Objektträger mit Methylgrünessigsäure be- Die an sich farblose Grundsubstanz der Chlorophyllkörper tritt ark tingiert, deutlich hervor.

Chlorophyllgehalt äußerlich nicht grün erscheinender Pflanzenteile.

Laubblätter. Wir stellen unter Zuhülfenahme von Holunder- ıerschnitte durch Blätter rotblättriger Varietäten von Fagus oder her. Chlorophyllkörper sind im Palisaden- und Schwammparen- ɔrhanden, aber die Epidermiszellen enthalten in ihrem Zellsaft

gelöste rote oder violette Pigmente, welche die Farbe des Blattgrüns in den unversehrten Organen verdecken.

b) Neottia Nidus avis. Diese Pflanze scheint völlig chlorophyllfrei zu sein und entwickelt sich auch tatsächlich in erster Linie auf Kosten organischer Substanz. Stengelquerschnitte zeigen die Epidermis, das Parenchym der Rinde sowie des Markes und einen zwischen beiden liegenden Sklerenchymring samt den Gefäßbündeln; grüne Chlorophyllkörper sehen wir aber nicht in den Zellen. Wird aber eine Neottiapflanze nach dem Zerquetschen mit Alkohol übergossen, so ist es leicht, einen chlorophyllgrünen Extrakt zu erhalten, der auch die gewöhnliche Fluorescenzerscheinung einer Blattgrünlösung darbietet. Wir ziehen ein Stückchen Epidermis vom Fruchtknoten der Neottia ab und untersuchen bei starker Vergrößerung. In der Umgebung des Kernes der Zellen sehen wir rundliche oder spindelförmige Farbstoffkörnchen, die, wenn wir das Präparat mit Alkohol behandeln, ergrünen. Solche Pigmentträger sind auch, freilich nicht in großer Menge, im Gewebe des Stengels unserer Pflanze vorhanden. Wir haben es in allen Fällen mit Farbstoffträgern zu tun, die neben Chlorophyllpigment (unter Vermittelung desselben bildet der Organismus einen kleinen Teil der organischen Substanz, dessen er bedarf, selbst aus anorganischem Material) einen braunen Farbstoff führen, der unter gewöhnlichen Umständen die Farbe des Blattgrüns völlig verdeckt (vergl. Wiesner, Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 8).

c) Fucus. Man kocht die jungen Teile möglichst frischer Fuspflanzen mit destilliertem Wasser aus, entfernt die braune Brühe, spült die nunmehr infolge der Extraktion des Phycophäins ergrünten Pflanzen mit kaltem Wasser ab und übergießt sie mit Alkohol. Die Flüssigkeit nimmt alsbald eine gelbgrünliche Farbe an. Man ersetzt sie nun durch frischen Alkohol und erhält schnell eine prächtig grüne, stark fluorescierende Chlorophylllösung (vergl. Hansen, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 2).

12. Chlorophyllfarbstoff.

a) Chlorophylllösung. In einen Zinkblechkasten von etwa 25 cm Länge, 20 cm Breite und 9 cm Höhe werden feuchte Sägespäne gebracht. In diese säet man vielleicht 100 g Weizenkörner ein und bedeckt sie ca. 2 cm hoch mit feuchten Spänen. Die Keimlinge entwickeln sich bei Lichtzutritt. Nach 2—3 Wochen, wenn 2 grüne Laubblätter ausgebildet sind, schneidet man diese Blätter ab und zerkleinert sie mit einer Schere. 40 g Substanz werden in einer Porzellanschale nach dem Uebergießen mit destilliertem Wasser auf dem Wasserbade $^1/_4$ Stunde lang erhitzt. Dann gießt man das Wasser ab, preßt das Pflanzenmaterial etwas mit der Hand aus und übergießt es in der Schale mit 250 ccm Alkohol. Jetzt wird wieder auf dem Wasserbade erhitzt und die entstehende, prachtvoll tiefgrün gefärbte Chlorophylllösung später abfiltriert. (Lichtzutritt möglichst zu vermeiden.)

b) Xanthophyll und Cyanophyll. Der normale grüne Chlorophyllfarbstoff stellt ein mechanisches Gemenge dieser beiden Körper dar. Wir bringen Chlorophylllösung (vergl. unter 12a) in einen Glascylinder, fügen ein gleiches Volumen Benzin hinzu und schütteln das Gemisch kräftig. Bei ruhigem Stehen sondert sich die blaugrün gefärbte Lösung des Cyanophylls in Benzin alsbald oben ab; unter ihr befindet sich die gelb gefärbte Xanthophylllösung. Sollte die Trennung nicht normal er-

folgen, so tut man gut, der ursprünglichen alkoholischen Chlorophylllösung tropfenweise etwas Wasser hinzuzufügen; Trübung der Flüssigkeit darf aber nicht eintreten.

c) Etiolin. Ueber Etiolinkörner vergl. unter 14. 15 g zerschnittener Blätter im Dunkeln erwachsener Weizenkeimlinge werden mit 50 ccm Alkohol übergossen. Man erwärmt auf dem Wasserbade und filtriert die gelb gefärbte alkoholische Etiolinlösung ab. Zusatz von ziemlich viel Salzsäure ruft Trübung der Flüssigkeit, welche eine blaugrüne Färbung annimmt, hervor.

13. Das Absorptionsspektrum und die Fluorescenz des Chlorophyllfarbstoffes.

Zur Untersuchung des Absorptionsspektrums des Chlorophyllfarbstoffes bedürfen wir geeigneter Spektroskope. Je nach Umständen werden wir den Bunsenschen Spektralapparat, ein gradsichtiges Spektroskop, ein Taschenspektroskop (recht lichtstarke Spektra geben die Taschenspektroskope von Schmidt & Hänsch in Berlin), oder einen mit dem Mikroskop in Verbindung zu bringenden Mikrospektralapparat benutzen. Dieser letztere Apparat wird in vorzüglicher Qualität mit Skalenrohr und Vergleichsprisma von der Firma Zeiss in Jena oder von W. u. H. Seibert in Wetzlar geliefert. Die anderen Spektralapparate, welche genannt wurden, liefern z. B. R. Muencke in Berlin, Luisenstraße 58, und Desaga in Heidelberg. Eine genaue Beschreibung aller Apparate würde hier zu weit führen. Näheres findet man z. B. in Müllers Lehrbuch der Physik.

Wir wollen hier angeben, welche Erfahrungen man überhaupt bei der Untersuchung des Chlorophyllspektrums gesammelt hat. Bei Studien, die den Zweck haben, die Lage der Absorptionsbänder genau zu bestimmen, bedient man sich am besten solcher Apparate, welche mit Skalen versehen sind, die keine beliebige Teilung, sondern solche nach Wellenlängen besitzen. Die richtige Einstellung der Skala kann dann in einfacher Weise unter Zuhülfenahme der Frauenhoferschen Linien geschehen.

Gehen wir zunächst auf den Mikrospektralapparat ein, wie er in der von Seibert in Wetzlar gelieferten Form in Fig. 7 dargestellt ist, so sei folgendes über das mit dem Mikroskop in Verbindung zu bringende Instrument bemerkt: „Im Innern des Spektroskops liegen die 5 Prismen bei *P*, die Linse zum scharfen Einstellen des Spaltes befindet sich bei *C* und wird durch die Schraube S_1 auf den Spalt eingestellt. Das Objekttischchen für Vergleichspräparate ist *O*, und der zugehörige Beleuchtungsspiegel *B*. Durch die Schraube S_2 wird der Spalt geöffnet und geschlossen und durch S_3 verlängert oder verkürzt. S_3 gegenüber, im Bilde nicht sichtbar, befindet sich das Knöpfchen zum Ein- und Ausschalten des Vergleichsprismas. Beim Einschalten des Prismas wird zugleich das Loch im Objekttisch *O* geöffnet. *M* ist der Meßapparat. Durch das Knöpfchen *K* wird eine Linse verschoben zum Einstellen eines Dreieckchens. Das Dreieckchen wird mit Hülfe der Schraube *D* mit seiner Spitze auf

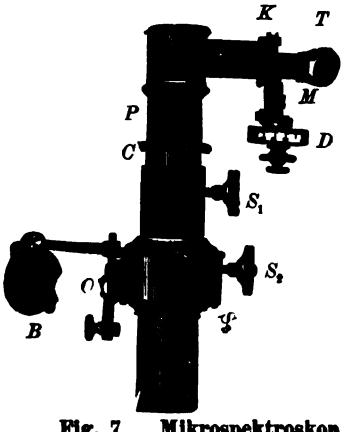


Fig. 7. Mikrospektroskop mit Meßapparat. (Nach Sorby-Browning.)

die einzelnen Spektrallinien eingestellt. Ganze Umdrehungen der Schraube können an einer Teilung bei *T*, Hundertel auf der Trommel *D* abgelesen werden. Auf diese Weise ist die Lage der einzelnen Linien sehr genau bestimmbar."

Will man Chlorophylllösungen untersuchen, so sind dieselben nach der unter 12 angegebenen Weise zu bereiten. Wir wollen auch hier wieder nur mit der gewöhnlichen alkoholischen Rohchlorophylllösung experimentieren und anderweitige Chlorophyllpräparate, die umständlich herzustellen sind, nicht berücksichtigen. Die im Dunkeln bereitete, frische Lösung gelangt in kleine, mit planparallelen Wänden und dichtschließenden Stopfen versehene Glasfläschchen, die von MUENCKE in Berlin bezogen werden können. Diese Gläser legt man einfach auf den Objekttisch des Mikroskopes und studiert nun das Spektrum. Das Chlorophyllspektrum zeigt 7 (eigentlich nur 6) Absorptionsstreifen, wie sie auch in Fig. 8 und Fig. 10 dargestellt sind. Besonders der Streifen im Rot ist sehr charakteristisch und selbst noch bei Benutzung sehr verdünnter Lösung wahrzunehmen. Zur Sichtbarmachung der übrigen Bänder arbeitet man erfahrungsgemäß zweckmäßig mit größeren Spektralapparaten, z. B. dem BUNSENschen oder HOFMANNschen (s. weiter unten). Die Resultate

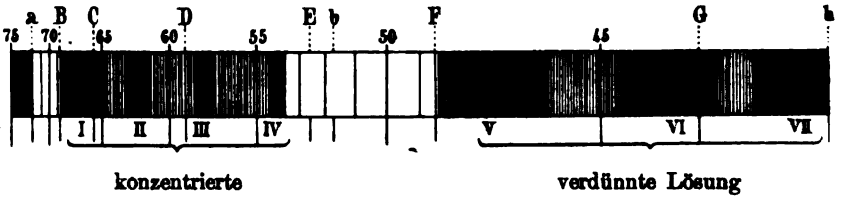


Fig. 8. Spektrum einer alkoholischen Chlorophyllösung. (Nach GÄNGE.)

der Beobachtungen sind in eine Skala einzuzeichnen, in welcher die Lage der FRAUENHOFERschen Linien und die Wellenlängen angegeben sind (vergl. Fig. 8). Bei genauen Untersuchungen ist der Meßapparat, der mittelst eines Spiegels beleuchtet werden kann, zur Hülfe zu nehmen. Das Vergleichsprisma leistet zumal dann sehr gute Dienste, wenn es sich darum handelt, das bekannte Spektrum eines Körpers mit dem noch nicht studierten eines anderen zu vergleichen. Schalten wir nämlich das Vergleichsprisma ein und beleuchten dasselbe gut, so erblicken wir zwei, nur durch eine zarte schwarze Linie getrennte, übereinander liegende Spektra. Wenn die Substanzen, welche man untersucht, dieselben sind und auch im gelösten Zustande in gleichen Konzentrationen Verwendung finden, so fallen die Absorptionsstreifen des unteren Spektrums genau in die Verlängerung der Streifen des oberen.

Handelt es sich darum, dünne Gewebeschnitte oder auch z. B. einzelne Chlorophyllkörner mit Hülfe des Mikrospektralapparates zu untersuchen, so werden dieselben in gewöhnlicher Weise auf dem Objektträger, in einem Tropfen Wasser resp. Glycerin liegend, mit Deckglas bedeckt. Bei dem Studium vieler chlorophyllhaltiger Objekte (man experimentiere z. B. mit Cladophorafäden) nimmt man nur Band I im Rot und eine aus der Verschmelzung der Bänder V, VI und VII hervorgegangene kontinuierliche Endabsorption wahr; die Bänder II, III und IV treten überhaupt nicht hervor.

Sollen Chlorophylllösungen unter Benutzung von Taschenspektroskopen, BUNSENscher Apparate oder geradsichtiger Spektroskope von

Hofmann oder Steinheil untersucht werden, so füllt man sie in Gläser mit parallelen Wänden, wie solche z. B. von Muencke in Berlin zu beziehen sind, ein (vergl. Fig 9); oder man bringt sie am besten in ein Hämoskop (von Desaga in Heidelberg zu beziehen), um in schneller und beliebiger Folge Flüssigkeitsschichten von verschiedener Dicke prüfen zu können. Wird als Lichtquelle eine Gas- oder Petroleumflamme in Anwendung gebracht, so sind deutlich oft nur die Bänder I und II, resp. diese und III der Chlorophylllösung zu erkennen. Die genauere spektroskopische Untersuchung des Chlorophyllfarbstoffes kann im direkten Sonnenlicht erfolgen. Das Spektroskop ist in einem Dunkelzimmer aufgestellt. Das Licht fällt durch eine Oeffnung im Fensterladen ein, und vor demselben befindet sich, um die Richtung der Strahlen unverändert zu erhalten, ein Heliostat, dessen Spiegel mit der Hand bewegt oder besser mittelst eines Uhrwerkes gedreht werden kann. Heliostaten liefern in guter Ausführung Ehrhardt & Metzger in Darmstadt. Im Dunkelzimmer, welches überhaupt bei vielen physiologischen Arbeiten sehr gute Dienste leistet, sind Wände, Fußboden, Decke, Fensterladen, Tische etc. mattschwarz angestrichen. Die für das Dunkelzimmer erforderliche Verdunkelungsvorrichtung kann man von der Firma Hanko in Unter-Barmen beziehen und anbringen lassen. Die Absorptionsstreifen im stärker brechbaren Teil des Chlorophyllspektrums sind nur dann deutlich getrennt voneinander zu sehen, wenn man mit relativ verdünnten Chlorophylllösungen experimentiert. Die Resultate der Untersuchungen werden nach Maßgabe der Beobachtungen, die man unter Benutzung der Skala des Spektroskops gewonnen hat, aufgezeichnet. Es sei noch bemerkt, daß das S. 15 erwähnte Mikrospektroskop aus gewissen Gründen nicht mit Wellenlängenskala versehen ist. Man muß daher die Resultate der Messungen nach den Angaben einer besonders angefertigten Tabelle auf Wellenlängen beziehen.

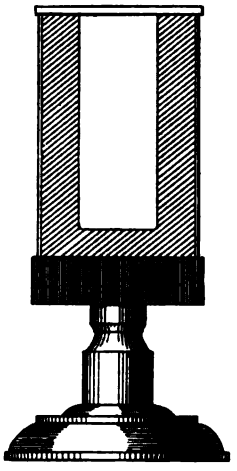


Fig. 9. Glasgefäß mit parallelen Wänden zur Aufnahme von Flüssigkeiten, die spektroskopisch untersucht werden sollen.

Wenn man konzentrierte alkoholische Chlorophylllösungen im auffallenden Licht betrachtet, so zeigt sich, daß dieselben eine rote Farbe besitzen. Noch deutlicher und schöner läßt sich die rote Farbe der Chlorophylllösung im auffallenden Licht zur Wahrnehmung bringen, wenn man mit Hülfe einer bikonvexen Linse ein Sonnenbild an der Oberfläche der Lösung entwirft. Der Chlorophyllfarbstoff fluoresziert mit rotem Licht, wie auf die angegebene Art leicht festzustellen ist.

14. Entstehung des Chlorophyllfarbstoffes.

a) Etiolin- und Chlorophyllkörper. Wir legen Samen von Lupinus in feuchte Gartenerde ein, mit welcher ein Blumentopf angefüllt ist, und stellen denselben unter einen Zinkblechrezipienten. Es sei hier ein- für allemal bemerkt, daß man zu Kulturversuchen gewöhnlich am besten die schwarze, sehr humose Erde benutzt, wie solche für Gewächshauspflanzen Verwendung findet. Man feuchtet die Erde so weit an, daß sie sich eben noch zwischen den Händen zu einer feinkrümeligen Masse

zerdrücken läßt, und rüttelt sie in die Blumentöpfe ein. Die Oeffnung am Boden der Blumentöpfe ist vorher zur Drainage der Erde mit einer Scherbe zu bedecken. Während der Kultur der Pflanzen ist das Bodenmaterial nach Bedürfnis mit Wasser zu besprengen. Die Blumentöpfe haben eine Höhe von ca. 10 cm, oft, z. B. bei Kultur von Weizenkeimlingen, kann man auch noch kleinere Töpfe verwenden. Bald nachdem

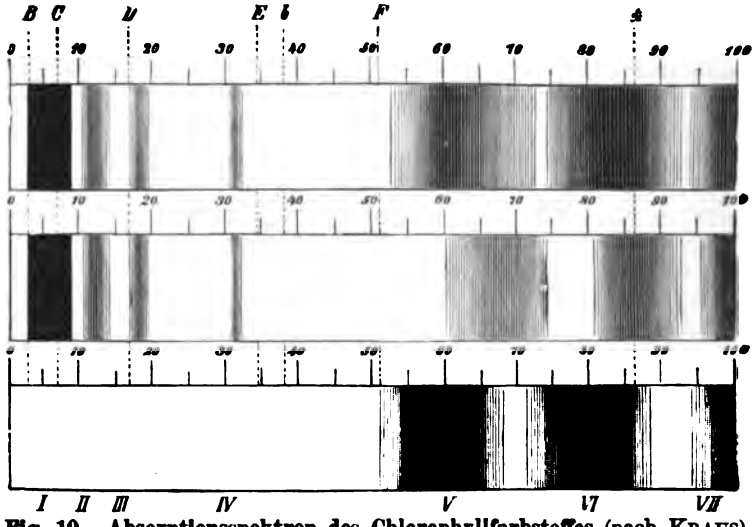


Fig. 10. Absorptionsspektren des Chlorophyllfarbstoffes (nach KRAUS). Das obere Spektrum ist das des alkoholischen Extraktes grüner Blätter, das mittlere das des in Benzin löslichen blaugrünen Bestandteiles, das untere das des gelben Bestandteiles. Die Absorptionsstreifen der beiden oberen Spektren sind im minder brechbaren Teile *B—E* nach einer mehr konzentrierten, im stärker brechbaren Teile nach einer verdünnten Lösung angedeutet. Die Buchstaben *A—G* bedeuten die bekannten FRAUENHOFERschen Linien des Sonnenspektrums, die Zahlen *I—VII* numerieren nach KRAUS die Absorptionsstreifen, vom roten zum violetten Ende fortschreitend. Die Striche *0—100* teilen die Länge des Spektrums in 100 gleiche Teile.

die Kotyledonen durch Streckung des Hypokotyls über die Bodenoberfläche hervorgetreten sind, untersuchen wir Querschnitte aus den gelb gefärbten Keimblättern mikroskopisch. Epidermis, Gefäßbündel und Blattparenchym sind deutlich zu sehen. Die Zellen des letzteren, zumal die mehr peripherisch gelegenen, enthalten, abgesehen von sonstigen Inhaltsbestandteilen, kleine, gelb gefärbte Körnchen, die Etiolinkörner. Wir setzen die Keimlinge nunmehr hellem, diffusem Licht aus. Die Kotyledonen ergrünen alsbald, und wir finden nunmehr aus den Etiolinkörnern hervorgegangene Chlorophyllkörner in den Zellen. Dieselben unterscheiden sich von jenen nicht nur durch ihre grüne Farbe, sondern auch durch beträchtlichere Größe.

b) Ergrünen von Koniferenkeimlingen im Dunkeln. Wir kultivieren Weizenkeimlinge und in einem anderen Blumentopf solche von Pinus silvestris unter einem Zinkblechrezipienten im Dunkeln. Die Weizenkeimlinge entwickeln eine gelbe Plumula, während die Kotyledonen von Pinus auch im Finsteren grüne Farbe gewinnen, weil sie, im Gegensatz zu den meisten anderen Pflanzen, auch bei Lichtabschluß normalen Chlorophyllfarbstoff zu bilden vermögen.

c) Chlorophyllbildung bei künstlicher Beleuchtung.

Ein Blumentopf, in welchem sich Weizenkeimlinge mit 2—3 cm langer Plumula im Dunkeln entwickelt haben, wird 15 cm entfernt von der Flamme einer Petroleumlampe aufgestellt. Die Untersuchungsobjekte ergrünen deutlich in wenigen Stunden. Zur Kontrolle im Dunkeln gehaltene Keimlinge ergrünen nicht.

d) Lichtintensität. Weizenkeimlinge, die sich im Dunkeln entwickelt haben, werden hellem, diffusem Licht ausgesetzt, andere aber gleichzeitig direktem Sonnenlicht. Jene ergrünen z. B. im Laufe von 3 Stunden, diese weit langsamer. Im direkten Sonnenlicht findet ebenso wie im diffusen Licht Chlorophyllbildung statt, aber zugleich eine sehr lebhafte Zersetzung des Farbstoffes, so daß die Anhäufung desselben in den Chlorophyllkörpern nur langsame Fortschritte macht. Bei ferneren Versuchen im Sonnenlicht würde es erforderlich sein, mehr, als dies seither geschehen, die Wärmewirkung auszuschließen.

e) Farbiges Licht. In Blumentöpfen im Dunkeln kultivierte Lepidiumkeimlinge gelangen unter doppeltwandige Glasglocken, von denen eine mit einer fast gesättigten wäßrigen Auflösung von doppeltchromsaurem Kali, die andere mit einer Auflösung von Kupferoxydammoniak angefüllt ist (Fig. 11). Diese letztere bereitet man durch Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd in Wasser und Zusatz überschüssigen Ammoniaks. Die Lösung des doppeltchromsauren Kalis läßt in nicht zu dicker Schicht das Rot, Orange, Gelb und einen Teil des Grün fast ungeschwächt passieren, während die Kupferoxydammoniaklösung diese Strahlen im Gegenteil absorbiert und dem Rest des Grün, dem Blau, Indigo und Violett den Durchgang gestattet. Spektroskopische Prüfungen der Lösungen sind natürlich vorzunehmen. Mit Hülfe der Flüssigkeiten gelingt es, das weiße Licht nahezu genau in die weniger und die stärker brechbare Hälfte zu zerlegen. Zur Abhaltung gemischten weißen Lichtes stellt man die Glocken bequem auf mit Sand gefüllte Teller. An Stelle der mit Kupferoxydammoniak angefüllten Glocke empfiehlt es sich sehr, um recht helles, gemischtes blaues Licht zu erhalten, welches nahezu ebenso zusammengesetzt ist, wie das durch die Kupferlösung gegangene, Glocken aus blauem Glas zu verwenden, die neuerdings von der Firma Schott & Genossen in Jena gefertigt worden sind. Man kann sich leicht davon überzeugen, indem man

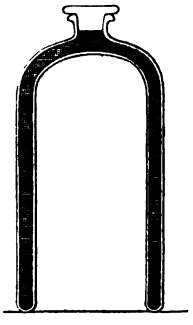


Fig. 11. Doppeltwandige Glasglocke zur Aufnahme farbiger Flüssigkeiten, im Längsschnitt dargestellt.

Stücke photographischen Papieres unter die Glocken legt, daß das gemischte gelbe Licht fast völlig frei von jenen, zersetzend auf das Silberpräparat wirkenden Strahlen ist, während das gemischte blaue Licht die Silberverbindungen sehr leicht zerlegt.

Man stelle die Apparate, mit den Keimpflanzen darunter, 5 m entfernt vom Fenster auf. Nach freilich noch nicht abgeschlossenen Versuchen, die ich im Juni mit Lepidium anstellte, ergrünen die Keimlinge im gemischten gelben Licht vielleicht etwas schneller als im gemischten blauen Licht, das die Schottsche Glocke passiert hat.

f) Dunkle Wärmestrahlen. Will man sich davon überzeugen, daß die dunklen Wärmestrahlen Chlorophyllbildung nicht ermöglichen, so werden Weizenkeimlinge mit gelber Plumula unter eine doppeltwandige

Glasglocke gebracht, welche eine Auflösung von Jod in Schwefelkohlenstoff enthält. Bei hinreichender Konzentration läßt die Flüssigkeit gar keine Lichtstrahlen, wohl aber die Wärmestrahlen passieren.

g) Temperatureinfluß. Weizenkeimpflanzen mit gelber Plumula werden bei 23° C recht hellem, diffusem Licht ausgesetzt, andere unter ähnlichen Beleuchtungsverhältnissen aber einer Temperatur von 14°. Nach 3 Stunden sind die ersteren Keimlinge bereits lebhaft ergrünt, die letzteren aber wenig. Bei Lichtabschluß in Blumentöpfen kultivierte Gerstenkeimlinge, deren erstes Laubblatt die Scheide schon durchbrochen hat, werden gleichartigen Beleuchtungsverhältnissen bei 6°, 20°, 30°, 37°, 43° ausgesetzt. Die Versuche bei höheren Temperaturen müssen unter Zuhülfenahme eines Thermostaten ausgeführt werden. In Fig. 12 ist ein geeigneter Apparat abgebildet. Auf einem Dreifuß steht ein Zinkblechgefäß (ca. 25 cm hoch und 20 cm im Durchmesser). Es enthält Wasser. Ein zweites Zinkblechgefäß mit übergreifendem Rand ruht im ersten. Den Boden des zweiten Gefäßes bedeckt eine Wasserschicht. Das Kulturgefäß steht auf einem umgekehrten Blumentopf unter einer mit Thermometer versehenen Glasglocke. Bei 20 und 30° C erfolgt das Ergrünen viel schneller als bei 6° C; bei 37° wieder langsamer, und bei 43° findet keine Chlorophyllbildung mehr statt. Zu erwähnen ist noch, daß die Blumentöpfe, bevor die in ihnen entwickelten Keimlinge beleuchtet werden, einige Zeit lang in den Räumen von genau bekannter Temperatur verweilt haben müssen, damit sich ihnen diese Temperatur mitgeteilt hat (vergl. Wiesner, Die Entstehung des Chlorophylls in den Pflanzen, Wien 1877). Wiesner fand das Temperaturminimum für das Ergrünen der Gerste bei 4,5° C, das Optimum bei 35° C, das Maximum bei 37—38° C. Bei einem Versuch in Jena ergrünten Gerstenkeimlinge bei 18° C in 2 Stunden schwach, bei ca. 42° C in $5^1/_2$ Stunden gar nicht. Die Pflanzen ergrünten nachträglich bei niederer Temperatur sehr langsam. Bei genauen Studien sind die Keimlinge der hohen Temperatur länger, eventuell bei künstlicher Beleuchtung (Gaslicht) auszusetzen.

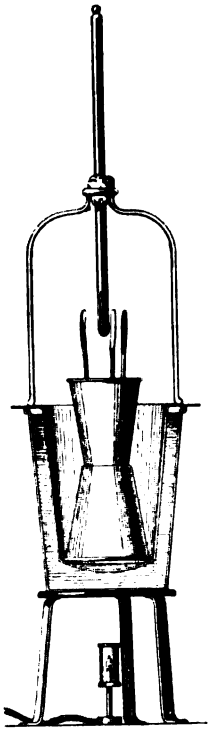


Fig. 12. Einfacher Thermostat. Ueber einen sehr leistungsfähigen Thermostaten vergl. unter 90.

h) Sauerstoffausschluß. Wir füllen 2 retortenartige Gefäße von ca. 90 ccm Inhalt (*a* und *b*) mit ausgekochtem und in verschlossenen Gefäßen wieder abgekühltem, destilliertem Wasser an, bringen einige im Dunkeln kultivierte Weizenkeimlinge in das Wasser und stellen die Gefäße unter Benutzung eines geeigneten Stativs derartig auf, daß ihre Mündung unter Quecksilber taucht (vergl. Fig. 13). Nun verdrängen wir das Wasser im Apparat *a* bis auf einen kleinen Rest durch Wasserstoffgas, das Wasser im Apparat *b* aber durch atmosphärische Luft. Werden die Gefäße jetzt dem Einfluß diffusen Lichtes ausgesetzt, so ergrünen die Keimlinge in *b* schnell, die in *a* aber nicht. Das Wasserstoffgas entwickeln wir aus arsenfreiem Zink und verdünnter Salzsäure

(1 Teil Wasser und 1 Teil HCl) im KIPPschen Apparat (vergl. Register). Zur Reinigung leiten wir das Gas durch verdünnte Kalilauge und durch eine wäßrige Lösung von übermangansaurem Kali.

15. Zersetzung des Chlorophyllfarbstoffes.

a) Versuch mit Tropaeolum. In Töpfen kultivierte, kräftige Exemplare von Tropaeolum majus werden ins Finstere gestellt. Ist die Temperatur nicht zu niedrig, so haben die Blätter nach 8 Tagen auffallende Farbenveränderungen erfahren. Die älteren Blätter sehen, trotzdem sie noch saftig sind, gelb aus, während die jüngeren fleckig und die jüngsten noch völlig grün erscheinen. Die mikroskopische Untersuchung lehrt, daß die Chlorophyllkörper der gelben Blätter an Größe verloren haben und statt des grünen Pigments nur noch ein gelbes enthalten.

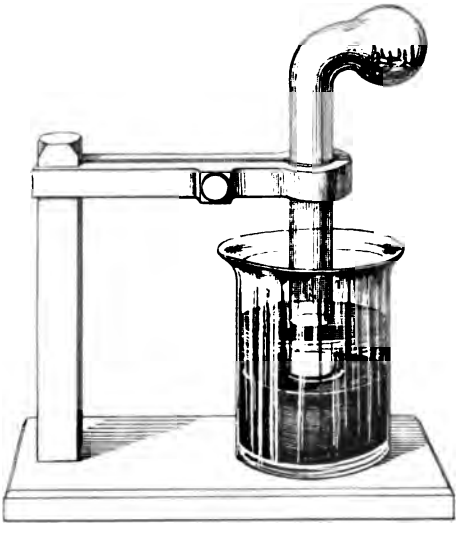


Fig. 18. Apparat zur Kultur von Pflanzen in sauerstofffreiem Raum.

b) Säurewirkung auf Blätter. Ein Primordialblatt von Phaseolus wird in sehr verdünnte Salzsäure gelegt. Nach etwa einer Stunde ist infolge der Säurewirkung eine Verfärbung des Chlorophyllfarbstoffes eingetreten.

c) Säurewirkung auf Chlorophylllösungen. Eine Rohchlorophylllösung (vergl. Darstellung derselben unter 12) wird mit sehr wenig Salzsäure versetzt, nachdem man die Lösung etwas mit Alkohol verdünnt hat. Die schön grüne Farbe der Flüssigkeit geht sofort verloren; sie nimmt infolge Zersetzung des Pigments einen bräunlichen Farbenton an.

d) Lichtwirkung. Eine im Dunkeln aufbewahrte alkoholische Chlorophylllösung erhält sich lange Zeit unverändert. Diffuses Licht wirkt nur langsam verfärbend auf die Chlorophylllösung ein. Setzt man aber eine solche Lösung in einem verschlossenen Gefäß direktem Sonnenlicht aus, so tritt die Verfärbung sehr schnell ein, z. B. in $^1/_2$ Stunde.

e) Wirkung farbigen Lichtes. In Gläsern befindliche Rohchlorophylllösungen werden unter Glasglocken gestellt, welche nur gemischtes gelbes und gemischtes blaues Licht passieren lassen. Ueber diese Glocken vergl. unter 14e. Setzt man die Apparate direktem Sonnenlicht aus, so ergibt sich, daß die weniger brechbaren Strahlen die Zersetzung (Verfärbung) des Chlorophyllfarbstoffes weit schneller als die stärker brechbaren Strahlen herbeiführen.

16. Sauerstoffproduktion bei der Assimilation.

a) Auffangen des produzierten Sauerstoffes. In einen Trichter von ungefähr 500 ccm Kapazität bringen wir eine ganze An-

zahl der Sprosse von Elodea canadensis, Hippuris, Myriophyllum oder Ceratophyllum. Die mit der Knospe versehenen Sproßenden haben eine Länge von etwa 5 cm. Der Trichter wird in ein großes, mit Brunnenwasser angefülltes Becherglas gestellt und über die sich noch unter dem Wasserspiegel befindende Mündung des Trichterrohres ein mit Wasser angefülltes Probierglas gestülpt (vergl. Fig. 14). Sollte das Brunnenwasser sehr kohlensäurearm sein, so fügen wir demselben etwas Selterwasser hinzu oder leiten etwas Kohlensäure in dasselbe ein. Diese Kohlensäure wird in einem Kippschen Apparat aus Marmor durch Uebergießen desselben mit verdünnter Salzsäure entwickelt und passiert zur Reinigung eine Waschflasche, welche eine Lösung von doppeltkohlensaurem Natron enthält. Den mit den Pflanzenteilen beschickten Apparat setzen wir im Freien oder im Winter (zu dieser Jahreszeit experimentieren wir mit Elodea) im warmen Zimmer auf einer weißen Unterlage dem direkten Sonnenlicht aus. Nach einiger Zeit hat sich viel sauerstoffreiche Luft im Probierglas angesammelt. Wenn wir die Mündung des Reagensrohres unter Wasser mit dem Finger verschließen, dasselbe umkehren und einen glimmenden Span einführen, so brennt derselbe sofort mit lebhaft leuchtender Flamme.

Fig. 14.

Fig. 15.

Fig. 14. Apparat zum Auffangen des von assimilierenden Wasserpflanzen produzierten Sauerstoffes.

Fig. 15. Apparat zur Beobachtung der Gasblasenabscheidung assimilierender Pflanzen.

b) Methode der Gasblasenzählung. Ein Glascylinder wird mit ca. 300 ccm Brunnenwasser angefüllt, dem wir eventuell noch Kohlensäure zugeführt haben. Wir bringen nun ein 5 cm langes, mit Endknospe versehenes Zweigende von Elodea, das wir zweckmäßig mit einem dünnen Draht an einen Glasstab angebunden haben, in die Flüssigkeit (vergl. Fig. 15). Wir beobachten, daß aus der mittelst eines scharfen Messers hergestellten Schnittfläche am oberen Ende des Pflanzenteiles bei Lichtzutritt Gasblasen entweichen. Die Anzahl der aus sauerstoffreicher Luft bestehenden Gasblasen läßt auf die Energie schließen, mit der die grünen Pflanzenteile assimilieren. In einer Minute kann ein Zweigstück von Elodea im recht hellen diffusen Licht z. B. 50—60 Gasblasen liefern; im direkten Sonnenlicht eine weit größere Anzahl. Das Experiment kann auch mit anderen Wasserpflanzen durchgeführt werden.

c) Chlorophyllfreie Pflanzen assimilieren nicht. Wir wiederholen den unter b angegebenen Versuch, verwenden aber an Stelle des Elodeasprosses eine Wurzel, z. B. eine Hauptwurzel von Vicia Faba. Sauerstoffproduktion tritt auch bei Lichtzutritt nicht ein.

d) Engelmanns Bakterienmethode. Eine sehr interessante Methode zum Nachweis der assimilatorischen Tätigkeit grüner Zellen ist zuerst von Engelmann in Anwendung gebracht worden (Botanische Zeitung, 1881 und 1882). Er fand folgendes: Ein etwa 1 cm langes Stück rohen, mageren, geschabten Fleisches wird mit 50 ccm Brunnenwasser übergossen. Nach einigen Tagen haben sich in der Flüssigkeit viele Bakterien (Bacterium termo) entwickelt. Nun überträgt man einen Tropfen der Flüssigkeit auf einen Objektträger, bringt einen Spirogyrafaden in das Präparat, legt das Deckglas auf und verkittet dessen Ränder mit Vaselin. Wird das Präparat beleuchtet, so sammeln sich die in lebhafter Bewegung begriffenen Spaltpilze in der Nähe des Algenfadens an. Die Bakterien sind nämlich aërotaktisch reizbar; der von der Alge erzeugte Sauerstoff bestimmt ihre Bewegungsrichtung. Unsere Bakterien stellen ein ausgezeichnetes Reagens auf Sauerstoff dar. Bei Verdunkelung des Präparates hört die Bakterienbewegung auf, um bei erneuter Beleuchtung wieder zu beginnen. (Näheres vergl. bei Engelmann.)

e) Indigomethode. (Beijerinck, Kny, Kolkwitz.) Eine Glasflasche mit engem Hals und Glasstöpsel von 4—500 ccm Kapazität wird mit Brunnenwasser angefüllt. Man fügt dem Wasser etwas Indigokarmin hinzu, bis die Flüssigkeit eine tief himmelblaue Farbe besitzt. Ferner schüttelt man 20 ccm einer gesättigten wäßrigen Lösung von Natrium bisulfurosum ($NaHSO_3$) 5 Minuten lang mit Zinkstaub und stumpft die Säure fast völlig mit Kalkmilch ab. Nun bringt man in die Indigokarminlösung einen durch Umwickeln mit Draht beschwerten Sproß von Hylocomium triquetrum oder einige Fäden von Cladophora (dies Material steht auch im Winter zur Verfügung), setzt der blauen Flüssigkeit mittelst eines Glasrohres einige Tropfen der durch Absetzen völlig geklärten Lösung des erwähnten Natriumsalzes hinzu und schließt das gänzlich angefüllte Glasgefäß mit dem Stöpsel. Beim Umschütteln verliert der Inhalt der Flasche, wenn man genügende Mengen des Natriumsalzes verwandt hat, infolge reduzierender Wirkung desselben seine blaue Farbe. Die Lösung sieht nunmehr gelblich aus und behält diesen Farbenton, wenn man die Flasche ins Dunkle stellt. Setzen wir das Gefäß aber z. B. hellem, diffusem Licht aus, so nimmt die Flüssigkeit in der Umgebung der grünen Pflanzenteile ihre blaue Farbe wieder an, und es steigen blaue Schlieren in der Lösung empor, ein Beweis dafür, daß die Untersuchungsobjekte Sauerstoff produzieren.

17. Beeinflussung der Sauerstoffproduktion assimilierender Pflanzen durch äußere Umstände.

a) Lichtintensität. Ohne näher auf die Beziehungen der Lichtintensität einerseits und der Energie der Assimilation andererseits einzugehen, ist es doch leicht, sich davon zu überzeugen, daß die Sauerstoffabscheidung grüner Pflanzenteile wesentlich durch die Stärke der Beleuchtung beeinflußt wird. Wir lassen uns einen aus Pappe hergestellten Kasten konstruieren, der ca. 20 cm lang, 18 cm hoch und 13 cm breit ist. Hinterwand und Deckel des Kastens, beide mit übergreifenden Rändern versehen, können zurückgeschlagen werden. Die Vorderwand des Kastens, der im Innern mit mattschwarzem Papier überklebt ist, wird durch 3 nach Belieben einzuschiebende und herauszunehmende Glasplatten gebildet, einer gewöhnlichen Glasplatte mit 2 Milchglasplatten. Stellen wir nun unseren in Fig. 15 abgebildeten Apparat in den mit einer gewöhnlichen Glasplatte versehenen Kasten, so scheidet

die Elodeapflanze in einer Minute ziemlich viel Gasblasen ab. Hinter einer oder gar 2 Milchglasplatten ist die Sauerstoffproduktion viel geringer. Wenn die Gasblasenabscheidung hier und bei anderen Experimenten bei wechselnden äußeren Umständen untersucht werden soll, so ist es immer erforderlich, das Untersuchungsobjekt zunächst einige Minuten lang den neuen Bedingungen auszusetzen und erst dann die Zählungen vorzunehmen.

b) Temperatureinfluß. Wir setzen Elodeapflanzen in dem in Fig. 15 abgebildeten Apparat recht hellem, diffusem Licht aus. Das Brunnenwasser hat 12° C. Die Glasblasenabscheidung in 1, 2, 3 Minuten ist nicht erheblich. Jetzt übertragen wir den Sproß, ohne seine Orientierung zum Licht zu ändern, in einen anderen Apparat, dessen Wasser auf 20 oder 24° C erwärmt worden ist. Die Sauerstoffproduktion fällt unter den neuen Bedingungen erheblich bedeutender aus. Die Lichtintensität darf natürlich keine wesentliche Veränderung erfahren haben. Das Temperaturoptimum für die Sauerstoffabscheidung von Elodea, welches übrigens noch nicht genauer ermittelt worden ist, dürfte etwa bei 32° C liegen.

c) Einfluß farbigen Lichtes. Ein Elodeazweigstück, welches an einem Glasstab festgebunden worden ist, setzen wir in Brunnenwasser recht hellem, diffusem Licht aus. Es wird die in bestimmter Zeit (1 oder 2 Minuten) entweichende Gasblasenzahl festgestellt. Dasselbe Experiment wird wiederholt, nachdem wir eine mit einer Lösung von doppeltchromsaurem Kali angefüllte Glasglocke über den Apparat gedeckt haben (vergl. unter 14 e). Darauf wird die Gasblasenzählung wieder unter dem Einfluß diffusen Lichtes vorgenommen, und endlich unter dem Einfluß solchen Lichtes, welches eine Kupferoxydammoniaklösung passiert hat. Im gemischten gelben Licht ist die Sauerstoffproduktion recht groß, im gemischten blauen Licht viel geringer. (Vergl. Schlußsatz unter a.)

d) Chloroformwirkung. Wir setzen einen Elodeasproß in Brunnenwasser, welches zuvor längere Zeit mit Chloroform geschüttelt worden ist, diffusem Licht aus. Die Sauerstoffproduktion kann unter Umständen $^1/_4$ Stunde lang anhalten; endlich erlischt sie aber infolge der giftigen Wirkung des Chloroforms gänzlich.

e) Kohlensäuregehalt des Mediums und Sauerstoffabscheidung. Nach der Methode der Gasblasenzählung bestimmen wir die Größe der Sauerstoffproduktion eines Elodeasprosses, der in Brunnenwasser eintaucht (diffuses Licht). Wenn wir den Pflanzenteil nun in destilliertes Wasser bringen, ohne seine Orientierung zum Licht zu ändern, so ist die in der Zeiteinheit entweichende Anzahl der Gasblasen nunmehr viel geringer. Führen wir den Sproß abermals in Brunnenwasser ein, so steigt seine Sauerstoffproduktion wieder.

Ein Gefäß *a* enthält Brunnenwasser, *b* Brunnenwasser von der nämlichen Temperatur (200 ccm), dem wir aber noch 60 ccm klaren Kalkwassers hinzugefügt haben. Hat sich die Flüssigkeit in *b* ziemlich geklärt, so bringen wir einen Elodeasproß zuerst in *a*, dann in *b*, dann wieder in *a*. Im reinen Brunnenwasser findet stets Sauerstoffabscheidung statt (diffuses Licht); im kohlensäurefreien Wasser *b* hört die Gasblasenabscheidung auf, um bei der Uebertragung des Sprosses in *a* wieder zu beginnen.

f) Kohlensäuregehalt des Wassers. Wir versetzen Brunnenwasser mit etwas klarem Kalk- oder Barytwasser. Eintretende Trübung zeigt die Gegenwart von Kohlensäure an.

g) Kohlensäuregehalt der Luft. Wir stellen den in Fig. 81

abgebildeten Apparat zusammen. Die Vorrichtungen *b*, *c* und *d* lassen wir fort, so daß, wenn der Aspirator in Gang gesetzt wird, sofort atmosphärische Luft in das klare Barytwasser des Glases *a* eintritt. Durch bald eintretende Trübung der Flüssigkeit ist der Kohlensäuregehalt der Luft nachgewiesen (speziellere Angaben über die Bestimmung des Kohlensäuregehaltes von Gasgemischen vergl. unter 118). 10000 Volumteile atmosphärischer Luft enthalten 3 Volumteile CO_2.

h) Sauerstoffgehalt der Luft. Die atmosphärische Luft enthält fast genau 79 Volumteile Stickstoff und 21 Volumteile Sauerstoff. Um den Gehalt der Luft an Sauerstoff überhaupt zu konstatieren, benutzen wir den in Fig. 82 abgebildeten Apparat. Die Gefäße *A* und *B* sind natürlich nicht mit Samen beschickt. *A* ist nur ein Kontrollapparat; die Kalilauge in *B* versetzen wir mit etwas Pyrogallussäure. Stellen wir die Vorrichtung in einem Raume auf, in welchem die Temperatur recht konstant bleibt, dann steigt das Wasser in *B* zu bedeutender Höhe empor, während der Wasserstand in *A* fast unverändert bleibt.

18. Der makro- und mikroskopische Nachweis von Stärke in den Assimilationsorganen.

a) Makroskopischer Stärkenachweis (Jodprobe nach Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 3). 100—300 ccm destilliertes Wasser werden in einer Porzellanschale auf dem Wasserbade erhitzt. In dieses Wasser legt man die zu untersuchenden Blattstücke, z. B. solche von Tropaeolum, Phaseolus. Nicotiana, Tamus, Keimblätter von Sinapis oder Lepidium. Nach 5 Minuten langer Einwirkung des heißen Wassers gießt man die Flüssigkeit von den getöteten Blattstücken ab und ersetzt sie durch Alkohol. Der Alkohol wird auf dem Wasserbade erhitzt, und die Untersuchungsobjekte sind alsbald infolge der Extraktion des Chlorophyllfarbstoffes farblos geworden. Jetzt erfaßt man die Blattstücke mit einer Pinzette und überträgt sie in eine Jodlösung. Man bereitet dieselbe, indem man eine größere Menge Jod in starkem Alkohol auflöst und die Lösung dann in destilliertes Wasser einträgt, bis die Flüssigkeit etwa die Farbe eines dunklen Bieres besitzt. Sehr zweckmäßig verwendet man auch eine verdünnte Jodjodkaliumlösung. Jodjodkalium bereitet man durch Auflösen von 1 Gewichtsteil Jod und 4 Gewichtsteilen Jodkalium in 300 Gewichtsteilen Wasser. Von dieser Lösung tropft man so viel in destilliertes Wasser, bis dasselbe dunkelbraun gefärbt ist. Die Blattstücke bleiben so lange in der Jodlösung liegen, bis sie keine weitere Farbenveränderung erfahren; man hebt sie mit der Pinzette aus der Flüssigkeit und legt sie in eine mit Wasser gefüllte, weiße Porzellanschale. Bei völliger Abwesenheit der Stärke erscheinen die mit Jod gesättigten Blätter von hellgelber oder ledergelber Farbe. Kleine Stärkemengen verraten sich durch schwärzliche Farbe der Blätter, größere durch tiefer schwarze Farbe derselben. Wenn man die stärkereichen, mit Jod gesättigten Untersuchungsobjekte mehrere Stunden lang auf einem Teller in Wasser liegen läßt, so nehmen sie oft eine blaue Farbe an.

b) Mikroskopischer Stärkenachweis. Die Untersuchungsobjekte, z. B. Algenfäden (Cladophora), zarte Blattquerschnitte, Elodeablätter, werden zunächst zur Extraktion des Chlorophyllfarbstoffes in angegebener Weise mit Wasser und Alkohol oder nur mit erwärmtem Alkohol behandelt. Nun bringt man die Pflanzenteile, nachdem man sie in Wasser aufgeweicht hat, auf den Objektträger in einen Tropfen der

Lösung von Chloralhydrat (5 Teile Chloralhydrat auf 2 Teile Wasser), setzt wenig Jodjodkaliumlösung hinzu und beobachtet alsbald. Blaufärbung in den Zellen zeigt die Gegenwart von Stärke an. (Methode nach A. Meyer.)

c) Stärkekörner in den Chlorophyllkörpern. Wollen wir uns davon überzeugen, daß das durch Assimilation gebildete Amylum nicht etwa an beliebigen Orten einer Zelle, sondern in den Cblorophyllkörpern vorhanden ist, so wählen wir zweckmäßig Spirogyra, Zygnema oder Blätter von Funaria hygrometrica als Beobachtungsobjekte. Dieselben werden nur mit erwärmtem Alkohol, darauf mit Chloralhydrat und Jodjodkalium in angegebener Weise behandelt. Die Stärkekörner sind dann in den Chlorophyllkörpern sichtbar.

d) Weitere Methoden zum makro- und mikrochemischen Stärkenachweis. Sehr empfindlich ist folgende Methode. Blattstücke von Fritillaria imperialis und von Veronica hederifolia werden durch längeres Verweilen in Alkohol oder durch Auskochen mit Wasser und Alkohol (vergl. unter a) vom Chlorophyll befreit, in Wasser, dann einige Stunden in Chloralhydratlösung, wieder in Wasser, in verdünnte Jodjodkaliumlösung und wieder in Wasser gelegt. Die Veronicablätter sind stärkereich. Die Fritillariablätter scheinen völlig stärkefrei zu sein. Sie sind braun gefärbt. Abgezogene Epidermisstreifen zeigen aber bei mikroskopischer Prüfung, daß die Schließzellen der Spaltöffnungen Stärke führen.

19. Zucker und Stärke als Assimilationsprodukte der Pflanzen.

a) Qualitativer Nachweis. Am Nachmittag eines warmen, sonnigen Sommertages (aus später anzugebenden Gründen darf es nicht zu heiß und trocken gewesen sein, höchstens 24° C Lufttemperatur) entnehmen wir kräftigen, im Freien erwachsenen oder in Blumentöpfen kultivierten Tropaeolum- oder Phaseoluspflanzen und unter nahezu denselben Verhältnissen, wie diese, entwickelten Exemplaren von Allium Cepa größere Blattstücke. Mit Hülfe der unter 18 a angegebenen Methode unterwerfen wir die mit Wasser und Alkohol behandelten Untersuchungsobjekte der Jodprobe. Stärke ist nur in den Blättern von Tropaeolum und Phaseolus vorhanden; die Alliumblätter enthalten keine Stärke, sondern nur Zucker als Assimilationsprodukt. Die Gegenwart dieses Zuckers ist leicht nachzuweisen, wenn man ein Alliumblatt in kleine Stücke zerschneidet, diese mit 100 ccm Wasser auskocht und das Filtrat in siedende Fehlingsche Lösung (vergl. unter 124) einträgt. Im Winter experimentieren wir mit den Kotyledonen der Keimlinge von Sinapis alba oder Lepidium sativum (makroskopischer Stärkenachweis) oder zum mikroskopischen Stärkenachweis mit Elodea, Cladophora, Spirogyra. Die Pflanzen müssen einige Stunden lang direktem Sonnenlicht ausgesetzt gewesen sein.

b) Stärkebildung erfolgt bei der Assimilation nur in chlorophyllhaltigen Zellen. Am Nachmittag eines warmen Tages unterwerfen wir panachierte Blätter von Acer Negundo der Jodprobe. Nur die grünen Blattteile enthalten Stärke.

c) Quantitative Zucker- und Stärkebestimmungen. Am Nachmittag eines warmen Sommertages sammeln wir 30 g Fiederblättchen von Sambucus nigra, 30 g Blätter von Allium Cepa und 30 g Blätter von Tropaeolum majus. Wir benutzen völlig ausgewachsene Blätter, denn jüngeren könnte Zucker aus den Stengelorganen zugeführt worden sein. Wir setzen die Untersuchungsobjekte in einem größeren

Trockenschrank einer Temperatur von etwa 80° C aus. Nach etwa 2 Stunden breiten wir die Blätter auf Fließpapier aus, um das Material an der Luft im Sonnenschein trocknen zu lassen. Jetzt wird dasselbe, eventuell nach abermaligem Erwärmen im Trockenschrank, in einem Mörser sehr fein zerrieben. Zur Untersuchung gelangen etwa je 4 g des bei 100° C getrockneten Blattpulvers. Diese 4 g übergießen wir in einem Becherglas mit 100 ccm Wasser, digerieren einige Stunden lang bei 30° C, filtrieren die Lösung ab und waschen den Rückstand auf dem Filter sorgfältig aus. Die auf 400 ccm aufgefüllte Lösung teilt man in 2 Portionen. In 100 ccm der einen bestimmt man mit FEHLINGscher Lösung direkt die Menge des vorhandenen, reduzierend wirkenden Zuckers. Manche Gerbstoffe wirken, wie bekannt ist (LIDFORSS), ebenfalls reduzierend auf FEHLINGsche Lösung ein. Um diese zu erkennen und zu entfernen, versetzt man den wäßrigen Auszug der Blätter mit einer konzentrierten Lösung von Kaliumbichromat. Trübung zeigt Gerbstoffgegenwart an. Da die Flüssigkeit nicht klar zu filtrieren ist, wird sie auf dem Wasserbade eingedunstet, der Rückstand mit kaltem Wasser aufgenommen und das Filtrat zur Zuckerbestimmuug verwandt. Die zweite Portion wird mit Salzsäure längere Zeit erwärmt und schließlich ihr Gehalt an Zucker bestimmt (vergl. Näheres im 3. Abschnitt; auf verschiedene zu beachtende Vorsichtsmaßregeln gehen wir nicht näher ein). Man gewinnt auf solche Weise ein Urteil über den Gehalt der Blätter an direkt und erst nach der Inversion reduzierend wirkenden Kohlehydraten. Um auch den Stärkegehalt der Blätter bei Sambucus und Tropaeolum zu ermitteln, wird der Rückstand auf dem Filter mittelst 200 ccm Wasser in einen Kolben gespült und in der im 3. Abschnitt angegebenen Weise weiterbehandelt. Es gibt Blätter dikotyler Pflanzen (Erbsen), die bei der Assimilation keinen oder nur Spuren direkt reduzierend wirkenden Zucker anhäufen.

d) Blätter vermögen im Dunkeln aus Traubenzucker und Rohrzucker Stärke zu bilden. Wir kultivieren Tabakpflanzen bei Zutritt des Lichtes in Blumentöpfen, bis dieselben einige Blätter entwickelt haben. Stärke ist mittelst der Jodprobe leicht in den Blättern nachzuweisen. Die Blumentöpfe mit den Pflanzen gelangen nun 2 Tage lang ins Dunkle; jetzt sind die Blätter stärkefrei. Wir können auch mit Keimlingen von Sinapis alba experimentieren (ebenfalls im Winter) und kultivieren die Keimlinge so lange im Dunkeln, bis ihre Hypokotyle 6 cm Länge erreicht haben. Einige Kotyledonen dieser Pflanzen oder Stücke mittelgroßer Tabakblätter der Untersuchungsobjekte, die im Dunkeln verweilen, legen wir mit der Unterseite auf sterilisierte und wieder abgekühlte 10-proz. Rohrzucker- oder Traubenzuckerlösungen. Mit denselben sind bedeckte Krystallisierschalen angefüllt, die wir im Dunkeln aufstellen. An den Blättern haben wir, um das Eindringen der Zuckerlösungen in die Gewebe zu befördern, kleine Einschnitte angebracht. Nach 3 Tagen untersuchen wir die Blätter mittelst der Jodprobe auf Stärke. Amylum ist reichlich in den früher stärkefreien Blättern vorhanden. Die Blätter haben Zucker aufgenommen und aus demselben bei völligem Lichtabschluß Stärke produziert.

20. Abhängigkeit der Stärkebildung bei der Assimilation von äußeren Bedingungen.

a) Beleuchtungsverhältnisse. Man entnehme kräftigen, im Freien gewachsenen oder in Blumentöpfen kultivierten Tropaeolum- oder

Phaseoluspflanzen Blattstücke. Auch mit den Blättern von Sambucus nigra, Nicotiana und manchen anderen Pflanzen kann experimentiert werden. Die Blattstücke werden am Nachmittag sonniger, nicht zu trockener und nicht zu heißer Tage (höchstens 20—24° C) abgeschnitten, denn bei zu hoher Temperatur schließen sich die Spaltöffnungen, und die Assimilation ist mindestens sehr herabgedrückt. Stellen wir die Jodprobe an (vergl. unter 18a), so sind reichliche Stärkemengen in den Blättern nachzuweisen. Nun lassen wir die Topfpflanzen von Tropaeolum oder Phaseolus oder größere, in Wasser gestellte Zweige von Sambucus im Dunkeln unter Zinkblechrezipienten etwa 24 Stunden bei 20—24° C verweilen. Durch die Jodprobe können wir uns davon überzeugen, daß die Blätter keine Stärke mehr enthalten oder solche höchstens nur noch in ihren Nerven führen. Die Stärke ist ausgewandert und veratmet. Durch erneute Beleuchtung können wir wieder sehr stärkereiche Blätter gewinnen.

Schneiden wir am Nachmittag kühler (16—18° C), recht trüber Sommertage Blätter von in Töpfen kultivierten Tropaeolumpflanzen ab, die im Zimmer am Fenster gestanden haben, so konstatieren wir mit Hülfe der Jodprobe höchstens in den Blattnerven das Vorhandensein von Stärke. Ebenso enthalten die Blätter von Tropaeolum kaum Amylum, wenn die Topfpflanzen am Nachmittag eines heißen (30° C), trockenen Sommertages untersucht werden.

b) Experimente mit Elodea und Spirogyra. Die Pflanzen verweilen längere Zeit (1—2 Tage, oder bei niederer Temperatur erheblich länger) in größeren Wassermengen bei Lichtabschluß. Nun werden die Untersuchungsobjekte nach der unter 18b angegebenen Methode auf Stärke geprüft. Die stärkefreien Pflanzen setzt man in größeren Wassermengen, deren Temperatur zu regulieren ist, direktem Somnenlicht aus. Bei Spirogyra können sich z. B. schon reichliche Amylummengen in $^1/_2$ Stunde gebildet haben. Im diffusen Licht geht die Stärkeproduktion weit langsamer vor sich.

c) Experimente im Winter. Wir kultivieren unter möglichst günstigen Beleuchtungsverhältnissen Keimpflanzen von Lepidium sativum oder Sinapis alba in Blumentöpfen. Die etwa 9 Tage alten Keimlinge stellen wir ca. 40 Stunden lang ins Dunkle. Stärke ist mittelst der Jodprobe nun nicht in den Kotyledonen nachzuweisen. Exponieren wir die Untersuchungsobjekte jetzt 4—6 Stunden direktem Sonnenlicht, dann führen die Keimblätter reichlichere Stärkemengen.

d) Lokalisierung der Stärkebildung. In Blumentöpfen kultivierte kräftige Tropaeolumpflanzen verweilen etwa 2 Tage lang im Dunkeln. Durch die Jodprobe überzeugen wir uns von der Abwesenheit der Stärke in den Blättern. Jetzt befestigen wir an der Ober- und Unterseite nicht abgeschnittener größerer Blätter an einander genau gegenüberliegenden Stellen kleine Filzscheiben mit Hülfe von Stecknadeln, so daß nicht die gesamte Blattfläche der nunmehr wieder ans Licht gestellten Untersuchungsobjekte von den Lichtstrahlen getroffen werden kann. Geeignete Pflanzenteile zum Versuch sind auch die auf dem Wasser schwimmenden Blätter von Limnanthemum nymphaeoides, indem wir die nicht weiter verdunkelt gewesenen Spreiten auf ihrer Ober- und Unterseite teilweise mit einem Staniolstreifen bedecken. Schneiden wir die in angegebener Weise behandelten Blätter nach 1—2 Tagen ab, um sie mittelst der Jodprobe auf Stärkegehalt zu prüfen, so finden wir höchstens in den Nerven der verdunkelt gewesenen Partien Amylum; das Meso-

phyll dieser Blattstellen ist frei von Stärke. Die beleuchteten Blattteile führen reichliche Stärkemengen. Nur das direkt beleuchtete Blattgewebe kann bei der Assimilation Stärke bilden (vergl. Fig. 16).

e) Stärkebildung in farbigem Licht. Zwei kleinere Blumentöpfe, in denen sich je 10 Keimlinge von Sinapis alba bei Lichtzutritt entwickelt haben, gelangen 40 Stunden lang bei ca. 20° C ins Dunkle. Stärkeabwesenheit konstatieren! Wir bedecken 2 Teller mit feuchtem Sand, stellen auf jeden Teller eine Krystallisierschale, in welche wir kohlensäurereiches Wasser (Selterswasser) gießen, legen in jede Schale einen Kork, auf welchem je ein Blumentopf Platz findet, und bedecken mit Glasglocken, von denen die eine gemischtes gelbes, die andere gemischtes blaues Licht passieren läßt (vergl. unter 14e). Die Apparate werden nun z. B. bei 18° C 5—6 Stunden lang diffusem Licht (nur zu-

Fig. 16.

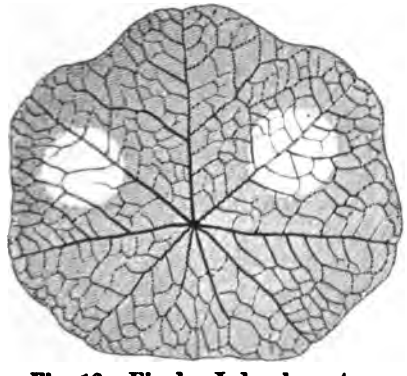


Fig. 16. Ein der Jodprobe unterworfenes Tropaeolumblatt. In den weiß erscheinenden Partien ist die Stärkebildung durch Verdunkelung unterdrückt worden.

Fig. 17.

Fig. 17. Apparat zur Kultur von Pflanzen bei Ausschluß der Kohlensäure.

weilen direktes Sonnenlicht) exponiert. Im gemischten gelben Licht ist ziemlich viel, im blauen Licht sehr wenig Stärke in den Blättern gebildet worden.

Eine Tropaeolumpflanze 24 Stunden lang verdunkelt. Stärkeabwesenheit konstatieren. Abgeschnittene Blätter, deren Stiele in Wasser eintauchen, in den eben erwähnten Apparaten 5—6 Stunden lang beleuchten. Die Apparate stehen im leichten Schatten von Bäumen. Bei Abschluß des Versuches ergibt sich, daß im gemischten gelben Licht ziemlich viel Stärke, im gemischten blauen Licht keine Stärke produziert worden ist. Die Stärke wird stets auf makroskopischem Wege (vergl. unter 18a) in den Blättern nachgewiesen.

f) Bei Ausschluß der Kohlensäure findet keine Stärkebildung statt. Um sich von dieser wichtigen Tatsache zu überzeugen, füllt man kleine Blumentöpfe mit ausgeglühtem Sand an und begießt mit gewöhnlicher Nährlösung, wie man solche zu Wasserkulturversuchen braucht. Die Lösung wird aber in ziemlich verdünntem Zustande benutzt. Am besten ist es, den Sand mit der Nährlösung zu durchfeuchten und dann in die Blumentöpfe einzukrümeln. Wir säen einige Samen

von Lepidium sativum in den Sand ein und bringen die bei Lichtzutritt kultivierten Keimlinge, wenn ihre Kotyledonen ausgewachsen sind (die Keimblätter enthalten jetzt, wovon man sich leicht nach der unter 18a angegebenen Methode überzeugen kann, reichliche Stärkemengen), in den in Fig. 17 dargestellten Apparat. Die Schale *G'* enthält Quecksilber, über das wir eine dünne Wasserschicht bringen. An Stelle des Quecksilbers kann man auch nur Wasser verwenden. In der Glasschale *G''* befindet sich starke Kalilauge (1 Teil Aetzkali, 2 Teile Wasser) und ein Glasklotz, auf dem der Topf mit den Pflanzen steht. Am besten ist es, wenn der Topf in einer Wasser enthaltenden Schale Platz findet. Diese Schale ruht auf dem Glasklotz. Die Glasglocke *Ggl* wird über die Keimlinge gedeckt; ihr unterer Rand taucht in das Quecksilber oder in das Wasser ein. Das mit der Glocke in Verbindung stehende Rohr *U* enthält mit Kalilauge getränkte kleine Bimssteinstückchen. Wir setzen unseren Apparat z. B. 2 Tage lang dem Licht aus. Vorübergehend können die Pflanzen von direktem Sonnenlicht getroffen werden. Stärke ist in den Kotyledonen jetzt nicht enthalten. Stellen wir den Topf ohne Bedeckung frei ans Fenster, so sammeln sich alsbald wieder erhebliche Stärkequantitäten in den Keimblättern an.

g) Ein Blattstück bildet in kohlensäurefreier Luft keine Stärke, wenn es mit einem anderen Teil desselben Blattes, der in kohlensäurereicher Luft assimiliert, in organischer Verbindung steht. Es werden 2 Krystallisierschalen ausgewählt (Fig. 18 *a*, *a'*), deren gut abgeschliffene Ränder genau aufeinander schließen. Die Ränder der Schalen werden mit Talg bestrichen und das Endblättchen von Sambucus nigra, welches einem Sproß entnommen wurde, der zur Entstärkung 18 Stunden lang im Dunkeln bei etwa 20° C verweilt hatte, derartig zwischen die Ränder gelegt, daß die Blattspitze *b* sich im abgeschlossenen Raum, Spreitenbasis und Hauptblattstiel sich aber draußen befinden. Die untere Schale enthält Kalilauge. Durch leisen Druck ist ein luftdichter Abschluß des zwischen den Schalen vorhandenen Raumes von ca. 600 ccm zu erzielen. Der Blattstiel taucht in ein kleines Glas ein, welches Wasser enthält. Der ganze Apparat wird nun unter eine große Glasglocke gestellt, welche kalibriert ist und etwa 4000 ccm Kapazität besitzt. Sie ruht auf Marmorstückchen und taucht in Wasser ein. Mit Hülfe des gebogenen Rohres *R* saugt man 200 ccm Wasser empor, leitet dann zur Verdrängung dieser Flüssigkeitsmenge reine Kohlensäure in den Apparat ein und setzt ihn 3 Stunden lang, eventuell unter Beschattung, dem direkten Sonnenlicht aus. Mit Hülfe der Jodprobe können wir nun feststellen, daß derjenige Blattteil, welcher in der etwa 5 Proz. Kohlensäure enthaltenden Luft verweilte, stärkereich ist, während im oberen Blattteil keine Stärke produziert wurde.

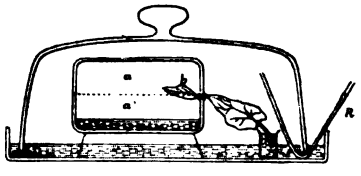


Fig. 18. Apparat nach Moll zu Experimenten über Assimilationserscheinungen.

21. Die Spaltöffnungen und der Assimilationsprozeß.

a) Experimente mit Phaseolus. Unter normalen Umständen wird dem grünen Gewebe der Blätter die erforderliche Kohlensäure in

erster Linie durch die Spaltöffnungen zugeführt (Stahl). Dies lehrt folgender Versuch, den man mit in Töpfen kultivierten Bohnenpflanzen anstellt, welche bereits einige dreizählige Blätter gebildet haben. Die Pflanzen verweilen zunächst 24 Stunden lang im Dunkeln; ihre Blätter sind dann entstärkt. Nun wird die Hälfte der Unterseite einiger nicht abgeschnittener Blättchen, um die Spaltöffnungen zu verschließen, mit einer erwärmten Mischung von 1 Teil Wachs und 3 Teilen Kakaobutter mittelst eines Pinsels bestrichen. Man setzt die Pflanzen direktem Sonnenlicht aus. Es ist zu empfehlen, den Untersuchungsobjekten bei den Experimenten nur einige Blätter zu belassen, damit sie nicht welken. Nach 4—6-stündiger Insolation taucht man die abgeschnittenen Blätter in kaltes Brunnenwasser, löst die Fettkruste von ihrer Unterseite ab und unterwirft sie nach der Extraktion mit Alkohol der Jodprobe (vergl. unter 18a) Die Blatthälfte, deren Stomata verschlossen waren, hat keine Stärke gebildet, während die Assimilation in der anderen Blatthälfte normal stattfand (vergl. Fig. 19). Wird die Oberseite der Blätter bei der Ausführung der Versuche mit Kakaowachs verkittet, so erleidet die Assimilation keine wesentliche Einschränkung, weil eben durch die Stomata der Unterseite reichliche Kohlensäuremengen in das Blattinnere eintreten. Dieses Experiment lehrt zugleich, daß das Vorhandensein des Wachsüberzuges an sich das Blatt nicht irgendwie schädigt.

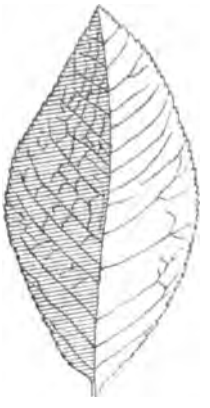


Fig. 19. Junges Blatt von Prunus padus. Die rechte Hälfte unterseits mit Kakaowachs überzogen gewesen. Die Zeichnung ist nach dem der Jodprobe unterworfenen Material ausgeführt worden. (Nach Stahl.)

b) Angewelkte Blätter bilden keine Stärke. Ein etwa 1 m langer Sambucussproß dient zum Versuch. Er verweilt 24 Stunden bei 20° C im Dunkeln. Von dem Sproß werden 2 der opponierten, gefiederten Blätter abgeschnitten. Blattstückchen dienen zur Jodprobe, welche negativen Erfolg ergibt. Von den beiden Blättern entfernen wir alle Blättchen bis auf je 2. Das Blatt *a* wird mit seinem Hauptblattstiel in Wasser gestellt und verweilt an einem schlecht beleuchteten Ort. Das Blatt *b*, ebenso wie *a* nur mit 2 Blättchen versehen, bleibt ohne Wasserzufuhr liegen, um es anzuwelken. Dies kann man auch erzielen, indem man *b* kurze Zeit lang zwischen Fließpapier direktem Sonnenlicht aussetzt. Nach 2 Stunden (oder, wenn *b* von der Sonne angewelkt worden ist, schon früher) stellt man *a* in ein kleines, Wasser enthaltendes Gläschen, *b* ebenfalls in ein solches Gläschen, aber ohne Wasser darzubieten. Beide Gläser gelangen in einen ziemlich großen Glascylinder, dessen Boden man mit Wasser bedeckt hat. Den Glascylinder stellen wir in ein noch größeres Glasgefäß, welches Wasser enthält. Der Cylinder ist durch Gewichte beschwert, damit er tief in die Flüssigkeit eintaucht. Die eine Hälfte seiner Innenwand ist mit feuchtem Fließpapier ausgekleidet; seine Mündung wird mit einer Glasscheibe bedeckt, welche aber einen breiten Spalt frei läßt. Wir setzen die Pflanzen in unserem Apparat 3 Stunden lang im Freien direktem Sonnenlicht aus. Nach Verlauf dieser Zeit untersuchen wir die Blättchen von *a* und *b* mittelst der Kobaltprobe (vergl. Register) und der Jodprobe (vergl. unter 18). Bei *a* sind die Stomata offen, und Stärke ist vorhanden. *b* zeigt geschlossene Spaltöffnungen; Amylum fehlt im Blatt-

gewebe. Welke Blätter vermögen also nicht zu assimilieren oder wenigstens keine Stärke zu bilden.

22. Spezifische Assimilationsenergie.

Die Experimente mit Helianthus annuus werden an einem nicht gar zu heißen Sommertage durchgeführt. Morgens schneiden wir von 2 recht großen Blättern die eine Hälfte ab, während die anderen Hälften samt der Mittelrippe an der Pflanze verbleiben. Die beiden abgeschnittenen Blattstücke legt man auf ein Zeichenbrett, bedeckt jedes an Stellen, wo dickere Blattnerven fehlen, mit Holzplatten von genau 40 qcm Fläche, welche als Schablonen dienen, und schneidet aus den Blattstücken mittelst eines scharfen Skalpells Blattflächen von entsprechender Ausdehnung heraus. Die Blattstücke (80 qcm) gelangen in einer Porzellanschale in einen auf 70° C vorgewärmten Trockenschrank. Nach etwa einer Stunde überträgt man die trockene Blattmasse in ein Wägegläschen und ermittelt ihren Trockensubstanzgehalt genau.

Die an der Pflanze verbliebenen Blatthälften werden, nachdem sie etwa 8 Stunden lang gut beleuchtet gewesen sind, abgeschnitten. Man entnimmt ihnen an Stellen, die jenen der zuerst benutzten Blätter symmetrisch sind, ebenfalls 80 qcm Fläche, um auch das Trockengewicht dieser Blattmasse zu bestimmen.

Die Gewichtszunahme, welche die zuletzt gewogenen Blattstücke den zuerst gewogenen gegenüber zeigen, gibt noch kein Maß für die Assimilationsgröße, denn während der Beleuchtungsperiode erfolgte ja auch Auswanderung durch Assimilation gebildeten Materials und eventuell Verlust durch Veratmung. Um die Größe solcher Verluste annähernd genau zu bestimmen, werden aus Helianthusblättern noch abends und ebenso gegen Morgen einander entsprechende Blattstücke von 80 qcm Fläche herausgeschnitten und genau in der schon angegebenen Weise behandelt.

In meinem Praktikum erhielt Manzeck folgende Resultate:

Trockengewicht von	80	qcm	Blattfläche	morgens	8	Uhr	0,300 g
„	„ 80	„	„	nachm.	$3^1/_2$	„	0,369 „
„	„ 80	„	„	abends	8	„	0,400 „
„	„ 80	„	„	morgens	$3^1/_2$	„	0,368 „

Die Gewichtszunahme betrug also am Tage in $7^1/_2$ Stunden 0,069 g; der Verlust in der Nacht in $7^1/_2$ Stunden 0,032 g. Durch die Assimilation müssen also mindestens in $7^1/_2$ Stunden 0,101 g Trockensubstanz produziert worden sein, d. h. von 80 qcm Blattfläche. Eine Blattfläche von 1 qm (10000 qcm) produziert danach in $7^1/_2$ Stunden 12,6 g Trockensubstanz, in 1 Stunde 1,68 g. Dieser Wert stellt annähernd genau die spezifische Assimilationsenergie für Helianthus annuus dar. (Weiteres vergl. bei Sachs, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, Bd. 3.)

II. Entstehung der Eiweissstoffe.

Als Quelle des Stickstoffes für die Eiweißproduktion kommen in Betracht der elementare Stickstoff der Atmosphäre, anorganische Stickstoffverbindungen der Luft und des Bodens sowie organische Körper (Pepton, Amide etc.).

Den meisten höheren Pflanzen dienen Nitrate (Calciumnitrat) des Bodens in erster Linie als Stickstoffquelle. Der Klebreis soll übrigens,

wenigstens in der Jugend, besser auf Kosten von Ammoniakverbindungen gedeihen, und geringe Mengen derselben vermögen andere Gewächse auch aus der Luft aufzunehmen. Der Mais gedeiht gut, wenn ihm allein Ammoniak als Stickstoffquelle zur Disposition steht. Manche Phanerogamen sind ebenfalls im stande, organische Stickstoffverbindungen (Asparagin, Leucin, Harnstoff) für ihre Ernährung zu verwerten.

Während für die Mehrzahl der grünen Gewächse die Salpetersäure als beste Stickstoffquelle bezeichnet werden muß, bevorzugen sehr viele Pilze und Bakterien Ammoniakverbindungen und organische Körper durchaus. Penicillium und andere Pilze gedeihen freilich sehr gut, wenn ihnen Salpetersäure (alle übrigen Lebensbedingungen natürlich immer vorausgesetzt) zur Disposition steht; indessen der Hefepilz sowie viele andere niedere Organismen ziehen Ammoniak und besonders organische Körper (Pepton, Asparagin) unzweifelhaft vor (A. Mayer).

Ueber das Wesen des Prozesses der Eiweißbildung sind wir noch wenig orientiert. Die höheren Pflanzen nehmen die Nitrate mit Hülfe der Wurzeln im gelösten Zustande auf und befördern dieselben in die Blätter. Hier erfahren die an sich chemisch wenig zu Reaktionen geneigten Nitrate (ebenso die dem Boden entstammenden und für die Eiweiß- sowie Nucleinbildung notwenigen Sulfate und Phosphate) eine Zersetzung durch organische Säuren (Emmerling). Es entstehen z. B. Calciumoxalat und freie Salpetersäure sowie Schwefelsäure, welche ihrerseits nun unter Mitwirkung des lebenstätigen Protoplasmas mit Assimilaten (Zucker) in chemische Wechselwirkung kommen. Als intermediäre Produkte dieses unter Kohlensäurebildung verlaufenden und schließlich zur Eiweißbildung führenden Prozesses treten zumal Säureamide auf. Daß auch die in den Pangiumblättern relativ reichlich vorhandene Blausäure ein solches Zwischenprodukt bei der Eiweißsynthese darstellt (Treub), ist möglich. Sicher ist die Blausäure kein Eiweißzersetzungsprodukt, denn sie verschwindet im Finstern aus den Blättern; vielleicht darf man sie aber als ein Nebenprodukt ansehen, welches von einem Orte der Pflanze zu einem anderen transloziert werden kann und die Rolle eines Schutzmittels gegen Tiere spielt.

Neuerdings ist die Ansicht vertreten worden (Schimper), daß die höheren Pflanzen nur in den grünen Zellen und allein bei Lichtzutritt Eiweiß aus Nitraten und Zucker zu bilden vermögen. Da die Mitwirkung des Chlorophylls indessen bei Pilzen nicht erforderlich ist, Weizenkeimlinge im Finstern aus Nitraten und dem in ihren Zellen vorhandenen Zucker stickstoffhaltige organische Körper von wahrscheinlich amidartiger Natur produzieren (Godlewski) und Lemna nach Hansteen im Dunkeln z. B. aus Traubenzucker und Asparagin Eiweiß bildet, so ist jene oben erwähnte Auffassung nicht zutreffend. Zaleski wies endlich durch quantitativ chemische Bestimmungen nach, daß Helianthusblätter in Berührung mit einer vollständigen Nährlösung, die Nitrat und Zucker enthielt, im Dunkeln Eiweiß produzieren können. Dennoch scheint Lichtzutritt die Eiweißbildung nach den neuesten Studien von Godlewski (Bulletin de l'Académie de Cracovie, 1903) ganz direkt zu begünstigen.

Eventuell vermag danach jede lebenstätige Zelle unter günstigen Bedingungen auch im Dunkeln Eiweiß zu formieren; indessen wir dürfen dennoch behaupten, daß die grünen Blätter unter normalen Umständen in allererster Linie die Organe der Eiweißsynthese repräsentieren, und daß sie vor allem bei Lichtzutritt solche Synthese vollziehen. Denn den Blättern werden durch den Transpirationsstrom reichliche Mengen von

Nitraten, Sulfaten sowie Phosphaten zugeführt, und es fehlt zugleich in den Blättern nicht an den erforderlichen Quantitäten stickstofffreier organischer Körper (Zucker).

Beiläufig sei hier auch darauf hingewiesen, daß manche Pflanzen durch ihren Lebensprozeß freien Stickstoff oder Ammoniak ausscheiden. Keimpflanzen tun dies freilich nicht, aber die Fäulnisbakterien, und von höheren Pflanzen z. B. Chenopodium vulvaria, geben Ammoniak aus. Die denitrifizierend wirkenden Bakterien bilden freien Stickstoff. Der Tetanusbacillus produziert Tetanin, einen eiweißartigen Körper; gewisse Spaltpilze bilden Ptomaine.

Was die Verarbeitung elementaren Stickstoffes bei der Eiweißsynthese anbelangt, so kann dieselbe nach Winogradzki unter geeigneten Bedingungen durch Clostridium Pasteurianum vermittelt werden, ebenso durch gewisse andere Bakterien, die ebenfalls im Erdboden oder im Meerwasser leben, wenn z. B. Algen die erforderlichen stickstofffreien Nährstoffe zur Verfügung stellen. Auch weitere Bakterien, resp. Pilze (Frankiaarten), in den Wurzelanschwellungen der Erle, Elaeagnus sowie Podocarpus vermögen in gleicher Richtung tätig zu sein. Gräser, Cruciferen, z. B. Sinapis, und viele andere Gewächse verarbeiten niemals elementaren Stickstoff; dagegen besitzt es das höchste Interesse, daß dazu die mit den Leguminosen in Symbiose lebenden Bakterien (Formenkreis von Bacillus radicicola) befähigt sind (Hellriegel, Prazmowski).

Die Bakterien befinden sich im Boden. Sie dringen in die Wurzelhaare der Leguminosen ein, bilden hier den Infektionsschlauch, welcher bis zum Wurzelkörper selbst fortwächst. Infolge des auf den letzteren sich geltend machenden Reizes entstehen nun die Knöllchen an demselben. Die Bakterien, sich fortwährend stark durch Teilung vermehrend, sammeln sich in großer Anzahl im Mark (Bakteroidengewebe) der Knöllchen an. Später gehen sie in Bakteroiden und endlich durch völlige Desorganisation in einen eiweißreichen Schleim über, welcher der Leguminose zur Ernährung dient. Die Leguminosen (dieselben vermögen übrigens auch Salpeterstickstoff bis zu gewissem Grade bei der Eiweißsynthese zu verwerten) verarbeiten den elementaren Stickstoff nicht selbst. Dies tun vielmehr nur die mit ihnen in Symbiose lebenden Spaltpilze, indem sie in ihrem Lebensprozeß aus Stickstoff der Bodenluft und Kohlehydraten, welche die Leguminose liefert, Eiweiß formieren, welches schließlich der letzteren zu gute kommt.

Zum Studium des Baues der Papilionaceenknöllchen verwendet man zweckmäßig solche von Pisum oder Vicia Faba. Die Knöllchen sind vor der Blütezeit der Pflanzen zu sammeln. Auf Querschnitten kann man leicht das Korkgewebe, die Rindenzone, die schmale Gefäßbündelregion und das mächtig entwickelte, gelblich gefärbte Bakteroidengewebe unterscheiden.

Die merkwürdigen, neuerdings zumal von Winogradzki studierten Nitrobakterien haben die Fähigkeit, trotzdem sie chlorophyllfrei sind, im Dunkeln aus rein anorganischem Material organische Substanz zu produzieren. Das ihnen zur Verfügung stehende Ammoniak oxydieren sie dabei zu salpetriger Säure und Salpetersäure. Durch solche Oxydationen gewinnen sie auch die für die Produktion organischer Substanz erforderliche Energie. Den Nitrobakterien muß freie CO_2 zur Verfügung stehen; CO_2 der Carbonate vermögen sie nicht zu verarbeiten.

(A. Mayer, Untersuchungen über die alkoholische Gärung, 1868; Boussingault, Compt. rend., T. 39; Schimper, Botan. Zeitung, 1888;

Emmerling, Versuchsstationen, Bd. 17 und 30; Zaleski, Berichte der Deutschen botan. Gesellschaft, 1898; Hellriegel, Beilageheft zu der Zeitschrift des Vereins für Rübenzuckerindustrie des Deutschen Reiches, November, 1888; Prazmowski, Versuchsstationen, Bd. 37 und 38; Winogradzki, Landw. Jahrbücher, Bd. 20.)

23. Versorgung niederer Organismen mit Stickstoff.

a) Verhalten der Hefezellen (Saccharomyces). Wir stellen 3 Kochflaschen (*a*, *b*, *c*) von etwa 200 ccm Kapazität auf. In *a* bringen wir 100 ccm destilliertes Wasser, in *b* 100 ccm Pasteursche Nährlösung. Dieselbe besteht in 1000 Gewichtsteilen aus 838 Teilen Wasser, 150 Teilen reinem Kandiszucker, den man z. B. aus der Apotheke beziehen kann, 10 Teilen weinsaurem Ammoniak, 0,2 Teil schwefelsaurer Magnesia, 0,2 Teil phosphorsaurem Kalk und 2 Teilen saurem phosphorsaurem Kali. Nach Molisch bedürfen auch die Pilze des Eisens. Meist ist schon der Zucker etwas eisenhaltig, aber man kann der Lösung ja leicht 0,1 g Eisenvitriol hinzufügen. In das Glas *c* bringen wir ebenfalls Pasteursche Nährlösung, die aber kein weinsaures Ammoniak enthält. Wir kochen die drei Flüssigkeiten einige Zeit lang in den Kochflaschen, um sie zu sterilisieren, nachdem wir die Mündungen der Gefäße mit Wattepfropfen verschlossen haben. Nach dem Erkalten der Flüssigkeiten entfernen wir die Wattepfropfen für einen Augenblick von den Mündungen der Gläser, um in jedes derselben 2 ccm hefehaltiger Flüssigkeit einzuführen. 2 g Hefe aus Berlin (vergl. Bezugsquellen) werden in 100 ccm sterilisiertem Wasser verteilt. Der Mörser, in welchem dies geschieht, ebenso der zu benutzende Maßcylinder sind vorher durch Ausspülen mit siedendem Wasser sterilisiert worden. Die mit Watte verstopften und mit je 2 ccm Hefeflüssigkeit beschickten Kochflaschen verweilen am besten im Thermostaten bei 25° C. Häufiges Umschütteln der Flasche ist erforderlich. Die Flüssigkeit im Glase *b* trübt sich alsbald (etwa in 4—5 Tagen) bedeutend, und es entstehen sehr zahlreiche neue Hefezellen. Die Flüssigkeiten in *a* und *c* trüben sich wenig. Da die Hefe sehr schwer von allen fremden Bestandteilen zu befreien ist, so kann wohl in *a* und *c* schwache Hefevermehrung erfolgen, aber auf jeden Fall beweist die massenhafte Hefevermehrung in *b*, daß hier allein die normalen Lebensbedingungen des Pilzes erfüllt sind. Die Neubildung der Zellen muß mit einer Erzeugung stickstoffhaltiger organischer Körper verbunden gewesen sein, denn das Protoplasma der Zellen ist ja reich an diesen, und als Material können nur stickstofffreie organische Körper und Ammoniak Verwendung gefunden haben.

Wir stellen Pasteursche Nährlösung her, ersetzen das weinsaure Ammoniak aber durch salpetersaures Kali. Wir experimentieren genau in der schon angegebenen Art und finden, daß sich die Hefe in der Lösung ähnlich wie in einer solchen verhält, der überhaupt kein stickstoffhaltiger Körper zugesetzt worden ist.

Dagegen kann man sich durch Versuche, bei deren Ausführung man das weinsaure Ammoniak der Pasteurschen Lösung durch Pepton ersetzt, davon überzeugen, daß dieser letztere Körper eine sehr geeignete Stickstoffquelle für den Hefepilz darstellt.

b) Bakterien. 25 ccm Pasteurscher Lösung gelangen in ein kleines Glas (*a*). Ferner bringen wir 25 ccm Pasteurscher Lösung, der aber das weinsaure Ammoniak fehlt, ebenfalls in ein Glas (*b*). Beide Gefäße stellt man unter eine Glasglocke und überläßt sie etwa 8 Tage

sich selbst. *a* trübt sich alsbald bedeutend infolge massenhafter Entwickelung von Bakterien, eventuell auch anderer Organismen. Die Flüssigkeit in *b* trübt sich nur wenig, weil die Stickstoffquelle fehlt. Eine schwache Lebensäußerung der vorhandenen Keime kann erfolgen, weil die Flüssigkeit vielleicht etwas Ammoniak aus der Luft anzieht.

c) Penicillium. Wir bereiten eine Nährlösung, die in 100 ccm Wasser 0,05 g phosphorsaures Ammoniak (dargestellt durch Sättigung von Phosphorsäure mit Ammoniak und Eindampfen der Lösung), 0,5 g saures-phosphorsaures Kali (KH_2PO_4), 0,3 g schwefelsaure Magnesia, 0,1 g Chlorcalcium und 1 g Traubenzucker enthält (a). Die Lösung b ist ebenso zusammengesetzt wie a, enthält aber statt des Ammoniaksalzes salpetersauren Kalk. 100 ccm beider Lösungen gelangen in Kochflaschen, deren Mündungen mit Wattepfropfen verstopft sind. Kochen zum Sterilisieren; Infektion mit Penicilliumsporen. Eine Scheibe Schwarzbrot wird in eine Krystallisierschale gelegt, mit Brunnenwasser übergossen, nach 15 Minuten auf einen Teller gebracht und mit einer Glasglocke bedeckt. Bei 15—20° C hat sich nach einigen Tagen auf dem Brot viel grünes Penicillium entwickelt (auch andere Pilze). Ewas Penicilliummaterial wird vom Brot mit einem Messer abgehoben, in 40 ccm sterilisierten und wieder abgekühlten Wassers gebracht und je 2 ccm dieser Flüssigkeit den Lösungen a und b hinzugefügt. Bei gewöhnlicher Zimmertemperatur entwickelt sich in a und b im Laufe einiger Tage eine bedeutende Schimmelvegetation. Penicillium vermag also Ammoniaksalze und Nitrate als Stickstoffquelle zu verwerten.

24. Bacillus Radicicola und die Papilionaceen als Stickstoffsammler.

Der Boden geeigneter Glascylinder von ca. 30 cm Höhe und 8 cm Durchmesser, welche etwa 2,5 kg Sand fassen, wird 1—2 cm hoch mit ausgeglühtem Kies bedeckt. Die Cylinder werden außen mit Flanell umwickelt. Auf den Kies legt man eine dünne Schicht reiner Watte. Einen sehr geeigneten, doppelt gewaschenen, tertiären Quarzsand aus der sächsischen Oberlausitz, dessen Stickstoffgehalt so gering ist, daß er hier nicht in Betracht kommt, kann man beziehen von der Firma „Vereinigte Hohen-Bockaer Glassandgruben, Dresden, H. Weichert & Co." Je 1 kg des Sandes werden in einer großen Schale mit 4 g kohlensaurem Kalk und etwas phosphorsaurem Eisenoxyd vermischt. Für je 1 kg Sand fügt man dann 150 ccm destilliertes Wasser hinzu, in welchem man 0,150 g KH_2PO_4, 0,080 g KCl und 0,080 g $MgSO_4$ aufgelöst hat. Der gleichmäßig durchfeuchtete Sand wird in die Cylinder unter häufigem Aufstoßen derselben auf eine weiche Unterlage eingekrümelt. Jeder Cylinder empfängt noch 10 ccm Bodenextrakt, bereitet durch Uebergießen von 10 g Boden eines Erbsenfeldes mit 100 ccm Wasser und Absetzenlassen der gröberen Erdteile. Der Gehalt dieser Auszüge an Stickstoffverbindungen ist so gering, daß er vernachlässigt werden kann. 4 Cylinder werden in angegebener Weise beschickt. In 2 Cylinder setzt man je 4 in Sägespänen angekeimte Erbsenpflanzen, in 2 Cylinder je 4 Haferpflanzen ein. Die Kulturgefäße werden jeden Tag gewogen und das verdunstete Wasser ersetzt (destilliertes Wasser). Die Gläser stehen im Zimmer am nach Süden gelegenen Fenster. Die Erbsen gedeihen, nachdem sie zunächst eine Hungerperiode überwunden haben, sehr gut. Es sind ihnen nun Stützen darzubieten. Sie verwerten den elementaren Stickstoff unter Vermittelung der in dem Bodenextrakt enthaltenen Bakterien. Die Haferpflanzen, wie unter 25 gezeigt werden

soll, kränkeln, weil sie nur gebundenen Stickstoff für ihre Ernährung zu verwerten vermögen. (Ueber eingehendere Studien vergl. bei Hellriegel und Prazmowski. Ueber die Knöllchen der Papilionaceenwurzeln vergl. S. 34.)

25. Salpetersäure als Nahrungsmittel höherer Pflanzen.

a) Sandkultur. Wir beschicken 4 Glascylinder genau in der unter 24 angegebenen Art mit Kies und Sand. Für 2 Cylinder mischen wir jedes Kilo Sand mit 4 g kohlensaurem Kalk, etwas phosphorsaurem Eisenoxyd und 150 ccm Wasser, in welchem 0,150 KH_2PO_4, 0,080 KCl, 0,080 $MgSO_4$ und 0,100 g $CaSO_4$ gelöst sind. Der Sand in den beiden anderen Cylindern ist ebenso vorbereitet; wir verwenden nur auf je 1 kg an Stelle des Gipses 0,100 g Ca_2NO_3. In jeden der 4 Cylinder werden 4 in Sägespänen angekeimte Haferpflanzen eingesetzt. Wägung der Gefäße und Ersatz des verdunsteten Wassers (destilliertes Wasser) erfolgt täglich. Nur bei Gegenwart der Salpetersäure gedeihen die Haferpflanzen normal.

Fig. 20. Maispflanze, die mit Hülfe der Methode der Wasserkultur bei Ausschluß aller Stickstoffverbindungen in der Nährstofflösung zur Entwickelung gebracht worden ist.

b) Wasserkultur. Wir experimentieren mit Maispflanzen, genau nach der unter 1 angegebenen Methode. Einige Pflanzen werden in der auf S. 5 angegebenen Methode kultiviert (a). Andere Pflanzen gelangen mit einer Lösung in Kontakt, welche ebenso wie jene zusammengesetzt ist, statt des salpetersauren Kalkes aber 1 g schwefelsauren Kalk im Liter enthält (b). Die Pflanzen von a entwickeln sich normal; diejenigen von b zeigen dagegen nach einiger Zeit ein sehr kümmerliches Aussehen (vergl. Fig. 20).

26. Nitrobakterien.

Wir stellen eine Nährlösung her, die in 100 ccm destilliertem Wasser 0,05 g $(NH_4)_2SO_4$, 0,1 g KH_2PO_4 und 1 g $MgCO_3$ enthält. Zu der Lösung fügen wir wenig Ackererde, um die Infektion mit Nitrobakterien herbeizuführen. Das Glasgefäß wird mit Watteverschluß versehen und sich einige Monate selbst überlassen. Während dieser Zeit bleibt die Lösung klar. Nur an ihrer Oberfläche bildet sich ein dünnes Häutchen, und im Bodensatz von kohlensaurer Magnesia entstehen

Zoogloeaformen von Bakterien, durch deren schleimige Natur die Karbonatteilchen förmlich untereinander verklebt werden. Jetzt sind auch reichliche Nitratmengen durch die Lebenstätigkeit der Nitrobakterien in der Flüssigkeit gebildet worden. (Vergl. Methode des Nachweises unter 27.)

Will man Reinkulturen der Nitrobakterien vornehmen, so bereitet man genau die nämliche Nährlösung wie oben, füllt dieselbe in einige Kochflaschen ein, versieht diese mit Watteverschluß und erhitzt die Lösungen zur Sterilisierung zum Sieden. Nach längerem Kochen läßt man erkalten und infiziert jede Kulturflüssigkeit mit einem Tropfen der umgeschüttelten Nitrobakterienkultur, die zuerst eingeleitet worden war. Nach Verlauf eines Monats kann man Nitrate in den Flüssigkeiten nachweisen (Methode unter 27). Nährlösungen, die nicht infiziert worden sind, dürfen natürlich jetzt kein Nitrat enthalten.

27. Nachweis der Salpetersäure im Wasser und in Pflanzen.

a) Brunnenwasser. Einige Kubikcentimeter Brunnenwasser werden in einer Porzellanschale auf dem Wasserbade eingedunstet. Dem Rückstand fügt man mit einem Glasstabe einen Tropfen Diphenylaminlösung (0,05 g Diphenylamin in 10 ccm ganz reiner, konzentrierter Schwefelsäure) hinzu. Bei Salpetersäuregegenwart tritt infolge der Bildung von Anilinblau Blaufärbung ein.

b) Pflanzen. Die Diphenylaminreaktion läßt, bei Pflanzen angewandt, zuweilen zu wünschen übrig, denn es gibt Stoffe in den Zellen, deren Gegenwart das Zustandekommen der Reaktion verhindert. Vielfach ist die Reaktion aber recht sicher. Wir stellen Schnitte aus den Hypokotylen von Lepidium- oder Sinapiskeimlingen, aus den Stengeln von Chenopodium bonus Henricus, Nesseln, Sambucus nigra her, legen die Schnitte auf einen weißen Teller und bringen einen Tropfen Diphenylaminlösung hinzu. Die eintretende Blaufärbung zeigt die Gegenwart von Nitraten an. Blattstiele von Fagus silvatica, Schnitte aus Roggenhalmen und Stengeln von Aristolochia Sipho sind nitratarm. Tropaeolumstengel enthalten kein Nitrat; wahrscheinlich wird hier, wenigstens am Tage, die Salpetersäure schnell verbraucht.

Schnitte aus der Blattspreite von Sambucus nigra lassen wir auf dem Objektträger etwas eintrocknen und fügen ihnen etwas Diphenylaminlösung hinzu. Nur im Nervenparenchym ist, wie es gewöhnlich der Fall, die Gegenwart von Nitraten nachzuweisen.

28. Nitratzersetzung durch organische Säuren.

Die von der Pflanze aufgenommenen Nitrate (auch Sulfate) können durch organische Säuren, zumal Oxalsäure, zersetzt werden. Es entstehen Oxalate und Salpetersäure, welche für die Eiweißbildung Verwendung finden kann.

Um zu zeigen, daß diese Zersetzung auch in verdünnten Lösungen vor sich geht, löst man 0,205 g salpetersauren Kalk in 400 ccm Wasser und fügt 100 ccm Wasser, in welchem 0,090 g wasserfrei gedachter Oxalsäure gelöst sind, hinzu. Es entsteht ein Niederschlag von oxalsaurem Kalk.

Daß Salpetersäure frei wird, wenn Oxalsäure auf salpetersaures Kali einwirkt, davon kann man sich mit Emmerling auf folgende Weise überzeugen. Es werden 5 Bechergläser (*a*, *b*, *c*, *d*, *e*), von denen jedes 500 ccm Wasser enthält, aufgestellt. *a* erhält einen Zusatz von 0,210 g Salpetersäure (HNO_3), *b* einen Zusatz von 3,000 g Oxalsäure (dieselbe

wasserfrei gedacht), *c* einen Zusatz von 0,337 g salpetersaurem Kali, *d* einen Zusatz von 0,210 g Salpetersäure und 3,000 g Oxalsäure und *e* einen Zusatz von 0,337 g salpetersaurem Kali und 3,000 g Oxalsäure. In die Versuchsflüssigkeiten werden Marmorplatten (vergl. Fig. 21) von möglichst gleicher Größe (40 mm Länge und Breite und 5 mm Dicke) hineingehängt. Zum Aufhängen dienen Fäden, die an Stäben, welche auf dem Rande der Gläser ruhen, befestigt sind. Ueberläßt man die Flüssigkeiten sich selbst, so ergibt sich, daß sich *a* nicht trübt, ebensowenig *b*, denn die Marmorplatte bedeckt sich mit einer Kruste von oxalsaurem Kalk, die der weiteren Wirkung der Oxalsäure ein Ziel setzt. Die Flüssigkeit in *c* bleibt auch klar, in den Glashäfen *d* und *e* bilden sich aber alsbald bedeutende Niederschläge von oxalsaurem Kalk. In *d* wirkt die Salpetersäure auf den Marmor ein. Es entsteht salpetersaurer Kalk, der nun unter Bildung von oxalsaurem Kalk und Freiwerdung von Salpetersäure, die ihrerseits abermals auf den Marmor einwirkt, von der vorhandenen Oxalsäure zersetzt wird. Wenn in *e* ein bedeutender Niederschlag entsteht, wie dies tatsächlich der Fall ist, so kann diese Erscheinung nur dadurch zu stande kommen, daß die Oxalsäure aus dem salpetersauren Kali Salpetersäure frei gemacht hat, welche sich nach ihrer Bildung dann ebenso verhält, wie die Salpetersäure in *d*.

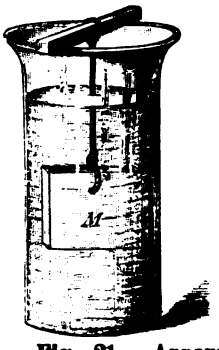


Fig. 21. Apparat zur Untersuchung der Einwirkung von Oxalsäure auf Nitrate.

29. Vorkommen und Verhalten des Calciumoxalates in der Pflanze.

a) Vorkommen. Der oxalsaure Kalk, im monoklinen oder tetragonalen System krystallisierend, tritt in den Pflanzen in Gestalt von Raphiden, Einzelkristallen, Kristalldrusen und Kristallsand (Zusammenhäufung ganz kleiner Kristalle) auf.

Ein Längsschnitt, rechtwinklig zur Blattfläche des Blattes von Aloë arborescens, läßt die Epidermis, das grüne Parenchym und das chlorophyllfreie Wassergewebe erkennen. In dem grünen Gewebe erblicken wir parallel zur Längsachse des Blattes gestreckte, schlauchförmige Zellen, die mit großen Mengen nadelförmiger Kristalle von oxalsaurem Kalk (Raphidenbündel) dicht angefüllt sind. Die Raphiden ruhen in einem schleimigen Inhalt der Zellen. Der oxalsaure Kalk ist nicht in Kalilauge oder Essigsäure, wohl aber in Salzsäure löslich. Blattstücke von Ampelopsis quinquefolia werden kurze Zeit mit kochendem Wasser behandelt, dann mit heißem Alkohol extrahiert und in Chloralhydratlösung (8 Teile Chloralhydrat, 5 Teile Wasser) gelegt. Nach einiger Zeit kann man die durchsichtig gewordenen und mit Wasser abgespülten Blattstücke ohne weiteres mikroskopisch untersuchen und das Vorhandensein zahlreicher, Raphidenbündel führender Elemente in ihrem Gewebe feststellen.

Ganz ebenso behandeln wir Blattstücke von Acer Negundo. Das Gewebe führt Einzelkristalle, die dem monoklinen System angehören. Untersuchen wir Blattstücke von Acer Pseudoplatanus oder Beta, so konstatieren wir das Vorhandensein von Kristalldrusen. Sambucusblattstücke, in angegebener Art mit Wasser, Alkohol und Chloralhydrat behandelt, bieten, am besten im polarisierten Licht untersucht (Methode unter b), kleine mit Kristallsand gefüllte Zellen dar.

b) Verhalten des Calciumoxalates. Stücke junger, eben ausgewachsener Blätter von Humulus Lupulus (auch mit jungen Sambucusblättern können wir experimentieren) werden mit Hülfe der unter a angegebenen Methode durchsichtig gemacht, auf den Objektträger gelegt und unter Benutznng des Polarisationsapparates (über Anwendung vergl. unter 54) untersucht. Bei gekreuzten Nikols erscheinen die allerdings nicht in großer Menge vorhandenen Oxalatkristalle leuchtend weiß oder farbig auf schwarzem Grund, bei parallelen Nikols erscheinen sie fast schwarz auf weißem Grund. Wenn wir nun mit Hülfe dieser Methode, welche die Kristalle besonders deutlich hervortreten läßt, ältere Blätter der genannten Pflanzen prüfen (es sind stets, auch bei Untersuchung der jungen Organe, Schattenblätter zu verwenden), so finden wir in denselben weit mehr Oxalat als in den jungen Organen. Das während des Wachstums der Blätter in denselben gebildete Oxalat bezeichnen wir als primäres, das später erzeugte aber als sekundäres (Schimper). Für die Bildung des sekundären Calciumoxalates ist das Licht von indirekter Bedeutung, indem unter seinem Einfluß Assimilate entstehen, welche das Material zur Produktion der Oxalsäure liefern.

Untersuchen wir junge und ältere Blätter von Ampelopsis, so tritt ein Unterschied im Oxalatgehalt in beiden Fällen nicht hervor. Wir haben es hier also nur mit primärem Oxalat zu tun.

c) Abhängigkeit der Bildung sekundären Oxalates vom Licht. Die Oxalatbildung ist, wie erwähnt wurde, indirekt abhängig vom Licht. Diese Abhängigkeit zeigt sich, wenn man im Juli Blätter von Sambucus nigra, die sich teils im tiefen Schatten, teils im direkten Sonnenlicht entwickelt haben, untersucht. Die letzteren sind viel reicher an Oxalat als die ersteren. Wir beobachten die Blattstücke im polisarisierten Licht, nachdem dieselben mit heißem Wasser, Alkohol und Chloralhydrat behandelt worden sind (vergl. Methode unter b).

30. Verarbeitung der Nitrate.

Eine Topfpflanze von Fuchsia verweilt 4 Tage lang im Dunkeln. Untersuchen wir Querschnitte der Blattstiele mit Diphenylaminlösung (vergl. unter 27), so finden wir viel Nitrat im Gewebe. Die Pflanze gelangt jetzt 6 Tage ans Licht (Südfenster). Die Blätter enthalten jetzt kein Nitrat mehr oder nur Spuren desselben. Verweilt die Pflanze abermals 3 Tage im Dunkeln, so ist sie wieder nitratreicher geworden. Bei Lichtzutritt hat Assimilation stattgefunden; reichliche Mengen von Oxalsäure konnten produziert werden, wodurch rasche Zersetzung der aus dem Boden stammenden Nitrate (und auch gesteigerte Eiweißbildung) ermöglicht wurde. Licht und Chlorophyll sind von indirekter Bedeutung für die Nitratverarbeitung; das grüne Laubblatt ist das wichtigste Organ für die Eiweißerzeugung der höheren Pflanze.

III. Die Aschenbestandteile der Pflanzen.

Alle Pflanzen bedürfen zu ihrer normalen Entwickelung gewisser Mineralstoffmengen, welche sie dem Nährstoffsubstrat entziehen. Der Aschengehalt der Pflanzen ist oft sehr gering, oft recht bedeutend. Meist beträgt er ca. 3—8 Proz. der Trockensubstanz (vergl. E. Wolff, Aschenanalysen, 1871). Manche Körper, die man in der Asche findet, sind in

der Pflanze in organischer Bindung zugegen, z. B. Schwefel in Eiweißstoffen (Näheres bei Schimper, Flora, 1890). Die Pflanzenaschen enthalten allgemein folgende Elemente: S, P, Si, Cl, K, Na, Ca, Mg, Fe. Zuweilen enthalten auch die Aschen noch andere Stoffe in größeren oder sehr kleinen Quantitäten. Zink ist in den auf zinkreichem Boden gewachsenen Pflanzen in nicht unbedeutender Menge vorhanden. Aluminium ist reichlich in Lycopodien, Mangan reichlich in Trapaarten gefunden worden. Meeresalgen führen Jod und Brom. Zuweilen kommen auch Lithium, Blei und Arsen in Pflanzenaschen vor.

Der S, der den Pflanzen meist in schwefelsauren Salzen zugeführt wird, ist unentbehrlich für alle Gewächse. Er findet namentlich bei der Formierung der Eiweißkörper Verwendung. Im Stoffwechsel wird der S dieser letzteren häufig wieder zu SO_3 oxydiert. Fäulnisbakterien produzieren SH_2, welcher von Beggiatoa unter Abscheidung von elementarem S verarbeitet werden kann.

Der P ist zur Produktion des Nucleins für alle Pflanzen unentbehrlich. Auch das Lecithin enthält bekanntlich Phosphor. Calciumphosphat ist eine geeignete Phosphorquelle.

Unbekannt ist, ob sich Diatomeen und Equiseten normal ohne Zufuhr von Si entwickeln. Für andere Pflanzen ist Si entbehrlich, auch für Gramineen, denn das Lagern des Getreides ist Folge partiellen Etiolements der Halme. Kieselsäurequellen sind Kieselsäurehydrat und kieselsaure Salze des Bodens. Die SiO_2 ist besonders in den Membranen der Epidermis abgelagert. Das Vorhandensein der SiO_2 kann nützlich für die Pflanze als Schutzmittel gegen Tierfraß sein.

Das Cl tritt zumeist in Verbindung mit Na in die Pflanze ein. Das Cl ist wahrscheinlich entbehrlich (nach A. Mayer auch für die Buchweizenpflanze). Oft mag es nützlich sein, indem Gegenwart von Chloriden in der Nährlösung deren saure Reaktion erhält. Manche Wüstenpflanzen (z. B. Tamarix) scheiden an ihrer Oberfläche mittelst mehrzelliger, in Grübchen gelegener Epidermisdrüsen NaCl ab (Volkens).

Unter Vermittelung der Pflanze zersetzte Zeolithe des Bodens sowie Orthoklas und Muscovit stellen wohl die wichtigsten Kaliumquellen für die Gewächse dar. Kalium ist für alle Pflanzen ein unentbehrlicher Nährstoff. Das Kalium scheint bei Anlage und Entwickelung der Pflanzenorgane, vielleicht bei der Zellteilung und Plasmabildung, eine wichtige Rolle zu spielen (Schimper).

Des Na bedürfen die Pflanzen, auch z. B. Salsola etc., nicht. Alle Pflanzen enthalten aber Na.

Ca, den Pflanzen in Karbonaten, Nitraten etc. zur Disposition stehend, bedürfen alle Pflanzen. Nur für Pilze und einige Algen ist Ca entbehrlich (Molisch, Benecke). Kalksalze kommen sicher im Zellsaft der Pflanzen im gelösten Zustande vor. Oxalsaurer Kalk ist in verschiedenen Kristallformen weit verbreitet. Die Cystolithen führen kohlensauren Kalk. Saxifragen scheiden unter Vermittelung von Hydathoden (Wasserspalten) Calciumkarbonat ab. Inkrustationen von kohlensaurem Kalk entstehen an der Oberfläche mancher Wasserpflanzen, indem gelöstes Bikarbonat auf rein chemischem Wege oder unter Vermittelung der lebenstätigen Pflanze dissoziiert, und das normale Karbonat gefällt wird. Calciumnitrat, Calciumsulfat Calciumphosphat sind sehr geeignete Verbindungen für die Versorgung der Pflanze mit den betreffenden Säuren. CaO dient eventuell zur Neutralisation von organischen Säuren in den Zellen, die, in zu großer Menge angehäuft, das Leben gefährden. Raphiden

von oxalsaurem Kalk spielen als Schutzmittel der Pflanzen gegen Tierfraß eine Rolle. Ca scheint für den normalen Verlauf des Wachstumsprozesses direkte Bedeutung zu haben.

Mg ist unentbehrlich für sämtliche Pflanzen und scheint bei der Protoplasmabildung in bestimmter Art zu funktionieren.

Fe ist ein für alle Pflanzen, auch für die Pilze, unentbehrlicher Nährstoff (Molisch, Die Pflanze und ihre Beziehungen zum Eisen, Jena 1892). Ohne Fe unterbleibt in grünen Gewächsen, trotzdem dasselbe nicht zur Konstitution des Chlorophyllmoleküls gehört, die Bildung dieses Farbstoffes (Chlorose). Bei Eisenbakterien findet man reichliche Eisenoxydhydratmengen in deren Schleimscheiden abgelagert. Die Inkrustationen sind teils Folge rein chemischer Prozesse, teils mögen sie zu stande kommen, indem Eisenoxydulsalze unter Mitwirkung der Lebenstätigkeit der Spaltpilze Oxydationen erfahren.

Die Pflanzen können nur normal gedeihen, wenn ihnen die erforderlichen Nährstoffe in geeigneten Verbindungsformen und auch hinreichenden Quantitäten zur Disposition gestellt werden (Gesetz des Minimums). Im allgemeinen kann ein unentbehrlicher Nährstoff nicht durch einen anderen Nährstoff vertreten werden, auch dann nicht, wenn der letztere dem ersteren chemisch nahe verwandt ist. So kann Fe nicht in seiner physiologischen Funktion durch Mn ersetzt werden, K nicht durch Na oder Li. Bei gewissen Pilzen scheint die Substitution des K indessen durch Rb möglich zu sein. Ob bestimmte Aschenbestandteile, z. B. Aluminium, Jod, Brom, die in einzelnen Pflanzen in geringerer oder größerer Menge vorkommen, für diese etwa unentbehrlich sind, bedarf näherer Prüfung. Neuere Studien stellten fest, daß manche, im allgemeinen entbehrliche Mineralstoffe (Mangan, Zink, Lithium), gewissen Pflanzen in sehr kleinen Mengen und geeigneter Verbindungsform dargeboten, deren Wachstum wesentlich befördern (Reizwirkung nach Pfeffer).

31. Rohaschengehalt der Pflanzen.

Laubblätter von Phaseolus, Sambucus oder Tropaeolum werden an der Sonne oder in einem großen Trockenschrank möglichst schnell getrocknet, in kleine Stücke zerschnitten und an der Luft liegen gelassen. Etwa 3 g der fein zerriebenen, lufttrockenen Substanz dienen zur Trockensubstanzbestimmung. In 10—15 g der lufttrockenen Masse bestimmt man die Rohasche. Das Material gelangt in eine Platinschale; in Ermangelung einer solchen kann auch eine Porzellanschale benutzt werden. Bei der Verbrennung selbst, die über dem freien Feuer der Lampe langsam auszuführen ist, hat man sorgfältig darauf zu achten, daß die Hitze nicht zu sehr gesteigert werde; die Asche darf niemals ins Glühen kommen. Die Rohasche (Reinasche der Pflanzen, gemengt mit etwas Kohle, Staub, welcher den Pflanzen anhaftete, und Kohlensäure) wird gewogen. Laubblätter können 10 Proz. Rohasche, oft weniger, zuweilen auch mehr, enthalten.

32. Aschenanalyse.

Quantitative Aschenanalysen werden nach der Methode von E. von Wolff (Anleitung zur chemischen Untersuchung landwirtschaftlich wichtiger Stoffe, 1875) ausgeführt. Hier können wir nur auf die qualitative Analyse der Asche eingehen.

a) Chlor. 5 g Tabakasche werden mit 25 ccm Wasser übergossen. Man setzt Salpetersäure hinzu und filtriert die Flüssigkeit ab, wenn die

Kohlensäureentwickelung aufgehört hat. Silbernitrat gibt in der Flüssigkeit einen weißen Niederschlag.

b) Schwefelsäure. 5 g Holzasche mit 25 ccm Wasser übergießen. Man fügt Salzsäure hinzu. Im Filtrat läßt sich die Schwefelsäure mit Chlorbaryum leicht nachweisen.

c) Phosphorsäure. Ein Ricinussame ohne Schale wird im Platintiegel verbrannt. Eine kleine Menge der gewonnenen Asche versetzt man auf dem Objektträger mit etwas Wasser und Salzsäure und trocknet über der Flamme ein. Dem Rückstand fügt man einen Tropfen 5-proz. Ammoniummolybdatlösung und eine Spur Salpetersäure hinzu. Makroskopisch und mikroskopisch ist die Bildung eines gelben Niederschlages, welcher die Anwesenheit der Phosphorsäure nachweist, zu konstatieren. Werden nicht zu dünne Querschnitte aus dem Endosperm des Ricinussamens auf dem Objektträger direkt mit Ammoniummolybdatlösung und Salpetersäure behandelt, so tritt keine Phosphorsäurereaktion ein, da der Phosphor in organischer Verbindung vorhanden ist. (Näheres über die Formen des Vorkommens der Mineralstoffe in den Pflanzen vergl. bei Schimper, Flora, 1890.)

d) Kieselsäure. Zarte Flächenschnitte von der Oberfläche des Stengels von Equisetum arvense werden auf ein Glimmerplättchen gelegt, mit konzentrierter Schwefelsäure betupft und geglüht. Das Glimmerplättchen mit der Asche legt man darauf auf einen Objektträger und bedeckt das Präparat nach Zusatz eines Wassertropfens mit Deckglas. Bei mikroskopischer Untersuchung erblicken wir ein Kieselskelett, welches viele der wesentlichen Strukturverhältnisse des ursprünglichen Flächenschnittes noch erkennen läßt.

e) Kalk. 5 g Holzasche mit 25 ccm Wasser und Salzsäure behandeln. Filtrat erwärmen und mit Ammoniak sättigen. Es entsteht ein Niederschlag von phosphorsaurem Kalk und phosphorsaurem Eisenoxyd. Man versetzt, ohne zu filtrieren, mit Essigsäure, wodurch der phosphorsaure Kalk gelöst wird, filtriert das phosphorsaure Eisenoxyd ab und fügt zum Filtrat oxalsaures Ammoniak. Der Kalk wird als oxalsaurer Kalk gefällt.

f) Eisen. 5 g Holzasche mit 25 ccm Wasser und Salzsäure behandelt. Dem Filtrat fügt man Ferrocyankaliumlösung hinzu. Blaufärbung der Flüssigkeit zeigt die Gegenwart des Eisens an.

83. Eisennachweis im Samen.

Samen von Sinapis alba werden nach dem Anquellen, ohne sie mit Stahlnadeln zu berühren, von der Samenschale befreit. Wir legen die Kotyledonen nun in 2-proz. Lösung des gelben Blutlaugensalzes. Nach $^1/_2$ Stunde übertragen wir die Keimblätter in 20-proz. Salzsäure. Nach einiger Zeit waschen wir mit Wasser aus, legen die Untersuchungsobjekte zwischen zwei Objektträger, pressen diese vorsichtig zusammen und untersuchen bei nicht zu schwacher Vergrößerung. Nur die Anlagen der Gefäßbündel der Kotyledonen haben sich blau gefärbt und treten als blaues Netz hervor. Mit Hülfe der soeben angegebenen Methode findet man in den Kotyledonen etiolierter Sinapiskeimlinge kein Eisen. Dasselbe ist in organische Verbindungen übergetreten.

84. Spektroskopischer Nachweis des Kaliums, Natriums, Lithiums und Calciums.

Wir benutzen eine nicht leuchtende Gasflamme und einen Bunsenschen Spektralapparat, der gut eingestellt wird. Zur Orientierung rühren

wir etwas Chlorkalium, Chlornatrium, Chlorcalcium und mit ganz wenig Salzsäure versetztes Lithiumkarbonat mit wenig Wasser in Uhrschälchen zu dickem Brei an. Wir bringen diese Stoffe an Drähten, am besten Platindrähten, die vorher durch Eintauchen in Salzsäure und Ausglühen gereinigt worden sind, in die Flamme. Das Natrium zeigt im Spektrum die bekannte gelbe Linie. Das Kalium ist besonders durch eine Linie im äußersten Rot charakterisiert. (Die Linie im violetten Teil des Spektrums kann man hier, und auch bei Aschenuntersuchungen, ebenfalls leicht beobachten.) Für das Lithium ist zumal eine Linie im mittleren Rot bezeichnend, und für das Calcium eine Linie im Orange (ganz nahe der Natriumlinie gelegen) und eine Linie im Grün. Wir können die beleuchtete Skala unseres Apparates auch unter Zuhülfenahme der Natriumlinie genau einstellen und dann die Lage der übrigen Linien ermitteln. Dasselbe kann bei der Untersuchung der Aschen geschehen.

Wir bringen etwas Holzasche und Tabakasche, die mit wenig Salzsäure zu einem dicken Brei angerührt worden sind, am Draht in die Flamme. Die Holzasche gibt 4 auffallende Linien (Kaliumlinie, Natriumlinie, Calciumlinien), die Tabakasche gibt 5 deutliche Linien, nämlich, abgesehen von den eben genannten, noch die Lithiumlinie zwischen der Kaliumlinie und der orangefarbenen Calciumlinie.

35. Mineralstoffbedürfnis höherer Pflanzen.

Wir kultivieren Mais nach der unter 1 angegebenen Methode in vollständiger Nährstofflösung. Diese Pflanzen entwickeln sich normal. Andere Maispflanzen bringen wir nur mit destilliertem Wasser in Berührung. Der völlige Mineralstoffmangel bedingt ein baldiges Absterben der Untersuchungsobjekte. Im Winter, zu welcher Zeit die Experimente natürlich bei weitem nicht so schöne Resultate wie im Sommer ergeben, stellen wir die Kulturgefäße im Gewächshaus auf.

Wir können auch Sandkulturen ausführen (vergl. Methode unter 24), Untersuchungsobjekt Hafer. In dem einen Kulturgefäß wird der Sand mit allen Mineralstoffen und kohlensaurem Kalk vermischt; in dem zweiten nur mit kohlensaurem Kalk.

36. Entbehrlichkeit des Siliciums und des Natriums.

Unsere Nährstofflösung (vergl. unter 2) enthält weder Silicium noch Natrium. Trotzdem entwickeln sich die Untersuchungsobjekte gut, womit die Entbehrlichkeit der genannten Stoffe erwiesen ist.

37. Unentbehrlichkeit des Kaliums, des Phosphors und des Eisens für die Pflanze.

a) Kalium. Wir kultivieren Mais in vollständiger Nährstofflösung (vergl. unter 2). Der Lösung geben wir eine etwas andere Zusammensetzung als früher. Sie enthält im Liter, abgesehen von sehr wenig Eisenchlorid, 1 g Ca_2NO_3, 0,5 g KCl, 0,5 g $MgSO_4$ und 0,5 g fein pulverisierten $Ca_3 2PO_4$. Der letztere Körper ist schwer löslich im Wasser und bildet daher einen Bodensatz in den Kulturgefäßen. Ferner stellen wir eine kalifreie Lösung her, indem wir das KCl der kompletten Nährstofflösung durch 0,5 g NaCl ersetzen. Die Lösungen sind schwach mit Salpetersäure anzusäuern (vergl. unter 3). Die Pflanzen in kalifreier Lösung verkümmern allmählich; ihre tiefer stehenden Blätter sterben immer mehr ab, während die höher stehenden langsam weiterwachsen.

b) Phosphor. Eine phosphorfreie Lösung erhält man, indem man den phosphorsauren Kalk durch 0,5 g Gips ersetzt. In den ersten 3

Wochen verhalten sich die normal und die ohne P_2O_5 ernährte Pflanze gleich. Dann aber beginnt die Pflanze zu verkümmern. Untersuchungsobjekt ist Mais.

c) Eisen. Die Pflanzen in eisenfreier Nährlösung (das Eisenchlorid wird einfach fortgelassen) produzieren zunächst normale grüne Blätter. Aber bald tritt eine Krankheitserscheinung hervor. Die Untersuchungsobjekte werden nämlich, wenn der Eisenvorrat der Samen erschöpft ist, ikterisch und chlorotisch. Die neu entstehenden Blätter erscheinen nicht mehr grün, sondern weiß, und die mikroskopische Untersuchung derselben lehrt, daß nicht normal ausgebildete oder keine Chlorophyllkörper in ihren Zellen vorhanden sind. Wenn wir der Nährlösung einige Tropfen einer verdünnten Eisenchloridlösung hinzufügen (das Eisen darf den chlorotischen Pflanzen, wenn es wirksam sein soll, nicht zu spät dargeboten werden), so ergrünen die vorher weißen Blätter in 2—3 Tagen, und die Pflanzen wachsen nun freudig weiter.

38. Mineralstoffbedürfnis der Pilze.

Wir bereiten uns 400 ccm einer Flüssigkeit, die in 100 Teilen 84 Teile Wasser, 15 Teile recht reinen Kandiszucker aus der Apotheke und 1 Teil weinsaures Ammoniak enthält. Je 100 ccm dieser Flüssigkeit gelangen in Kochflaschen. *a* erhält keinen Mineralstoffzusatz. *b* erhält einen Zusatz von 0,2 Teil KH_2PO_4, 0,02 Teil $Ca_3 2PO_4$ und 0,02 Teil $MgSO_4$. *c* erhält einen Zusatz von 0,02 Teil $Ca_3 2PO_4$ und 0,02 Teil $MgSO_4$. *d* erhält endlich einen Zusatz von 0,2 Teil Na_2HPO_4, 0,02 Teil $Ca_3 2PO_4$ und 0,02 Teil $MgSO_4$. (Ueber Eisenzusatz vergl. unter 23 a.) Die Flüssigkeiten in den Kolben werden, nachdem man die Mündung der Gefäße mit Wattepfropfen verschlossen hat, sterilisiert (vergl. Register). 2 g reiner Hefe aus Berlin (vergl. Bezugsquellen) werden in 100 ccm sterilisierten Wassers verteilt. Der Flüssigkeit in den Kolben *a*, *b*, *c* und *d* werden je 2 ccm schwach milchigen Hefewassers hinzugefügt. Die Gefäße verweilen nun am besten bei 25° C im Thermostaten.

Lebhafte Gärung und Hefevermehrung tritt nur in der Flüssigkeit *b* ein. Wenn in den Flüssigkeiten *a*, *c* und *d* eine schwache Trübung (bedingt durch geringe Hefe- oder Bakterienentwickelung) zu stande kommt, so ist das ein Zeichen für die Gegenwart kleiner Mineralstoff- resp. Kalimengen, die vielleicht im Zucker oder in dem zugesetzten Hefewasser vorhanden waren. Auf jeden Fall kann die Hefe sich nur normal entwickeln, wenn Mineralstoffe nicht in der Nährlösung fehlen. Aber unsere Experimente lehren ferner, daß auch schon dann keine üppige Hefevegetation und keine Gärung eintritt, wenn nur das Kalium, das durch Natrium nicht vertreten werden kann, nicht zugegen ist. Bei den Versuchen ist sorgfältigst auf Reinheit des Wassers, der Reagentien und des Hefematerials zu achten. Je günstiger die Verhältnisse nach dieser Richtung hin liegen, um so schlagender der Erfolg der Experimente.

IV. Organische Verbindungen als Pflanzennahrungsmittel.

1) Sämtliche Pflanzen bedürfen organischer Körper zum Aufbau ihrer Zellen. Zahlreiche grüne Gewächse erzeugen sich die Gesamtmenge der organischen Körper, welche sie nötig haben, selbst aus rein anorganischem Material (autotrophe Ernährungsform).

2) Auf die eigenartige Ernährung der Purpurbakterien sowie der Nitrobakterien wurde bereits hingewiesen.

3) Artari fand, daß sich gewisse Algen (Stichococcus) meist besser entwickeln, wenn ihnen nicht nur CO_2, sondern daneben noch organische Körper (Zucker) als Kohlenstoffquelle zur Disposition stehen.

4) Saprophyten sind solche Pflanzen, welche totes organisches Material für ihre Ernährung verwerten. Um die erforderliche Nahrung zu gewinnen, secernieren die Saprophyten (Bakterien, Pilze) viefach lösend und zersetzend wirkende Enzyme (Invertin, Diastase etc.). Für einen bestimmten Organismus sind durchaus nicht alle organischen Körper gleichwertig als Kohlenstoffquelle. So z. B. vermag Penicillium unter übrigens gleichen Bedingungen Zucker und auch Citronensäure sehr gut, Oxalsäure nicht zu verarbeiten. Für Aspergillus ist Dextrose ein ausgezeichnetes, Glycerin ein minder gutes Nahrungsmittel. Werden beide Körper dem Pilz gleichzeitig dargeboten, so verarbeitet er unter gewissen Umständen nur die Dextrose und läßt das Glycerin intakt (Elektion der Nährstoffe nach Pfeffer). Besonders wichtige Saprophyten sind manche Bakterien, welche Fäulnis, Buttersäuregärung, Milch- und Essigsäurebildung verursachen, Saccharomyces cerevisiae, Penicillium, Mucor, viele Basidiomyceten. Ueber Mykorrhizapflanzen vergl. weiter unten. Manche Pilze sind obligate Saprophyten, andere obligate Parasiten. Mucor stolonifer, M. racemosus und Penicillium glaucum gehören zu den fakultativen Parasiten. Meist leben diese Pilze saprophytisch, sie vermögen aber auch in gesunde Früchte (Aepfel, Birnen) einzudringen, leben in diesen und bedingen deren Fäulnis.

5) Die Parasiten schöpfen ihre Nahrung aus lebenden Pflanzen oder Tieren. Bei Bakterien, Pilzen und höheren Pflanzen werden gewiß sehr oft Fermente secerniert, um das Eindringen des Parasiten in den Wirt zu ermöglichen und um Nahrung zu gewinnen. Wichtige Parasiten sind Krankheiten erregende Bakterien, Rostpilze, Brandpilze, viele Ascomyceten, die chlorophyllfreie Lathraea, Cuscuta- und Orobanchearten (beide chlorophyllarm), die grünen Viscum-, Thesium-, Rhinanthus-, Melampyrumarten. Bei Gegenwart von Chlorophyll ist natürlich die parasitische Lebensweise in mehr oder minder ausgesprochener Art mit selbständiger Ernährung verbunden; indessen ist der Parasitismus doch von höchster Bedeutung für die grünen Schmarotzer (nach Pfeffer wohl besonders zur Gewinnung geeigneter Stickstoffverbindungen), denn Wettstein fand z. B. für Euphrasia, daß diese Pflanze freilich ohne Parasitismus Früchte produziert, daß die Entwickelung des Organismus unter solchen Umständen aber eine schwächliche und nicht normale ist.

Lathraea, Thesium, Rhinanthus und Melampyrum bilden an ihren Wurzeln, wie man leicht feststellen kann, Saugwarzen, aus denen die in den Wirt eindringenden Saugzellen (Haustorien) hervorgehen. Bei Cuscuta gehen solche Saugzellen vom Stengel des Parasiten aus, der den Wirt umwunden hat und gar nicht mehr mit dem Boden in Verbindung steht. Ueber Orobanche und Viscum vergl. Kerners Pflanzenleben.

6) Die insektenfressenden Pflanzen (Carnivoren) können freilich, da sie Chlorophyll enthalten, ohne Insektennahrung gedeihen; sie entwickeln sich aber, wie Büsgen zeigte, erst dann völlig normal, wenn ihnen Eiweißkörper zur Disposition stehen. Auch hier ist wieder die Versorgung mit geeigneten Stickstoffverbindungen besonders wichtig. Die Insektivoren, deren Biologie zumal Darwin (Insektenfressende Pflanzen, 1876) so eingehend studierte, haben die Fähigkeit, Insekten anzulocken, zu fangen,

zu verdauen und die gebildeten Peptone zu resorbieren. Die Apparate zum Anlocken und Fangen der Tiere sind z. B. bei Drosera, Dionaea und Nepenthes sehr verschiedenartig gebaut. Zur Auflösung des Eiweißes der gefangenen Tiere dienen Sekrete, die Säure (organische Säuren) und Pepsin enthalten. Diese Stoffe werden entweder immer oder, wie z. B. bei Dionaea, nur infolge chemischer Reize secerniert. Bei der Resorption der durch die Fermenttätigkeit erzeugten Peptone, machen sich in den aufsaugenden Zellen eigentümliche Aggregationsvorgänge geltend.

7) Mutualistische Symbiose ist in ganz typischer Form bei den Flechten gegeben. Die Algen liefern dem Pilz organische Körper; der Pilz sorgt für Befestigung des ganzen Organismus auf dem Substrat; er besorgt die Wasser- und Salzaufnahme, schützt die Algen vor Feuchtigkeitsmangel und kann ihnen auch in manchen Fällen wohl Peptone, deren einige Algen nach Artari als Stickstoffquelle bedürfen, liefern.

8) Die Mykorrhiza, zuerst besonders von Frank eingehend studiert, stellt die Verbindung von Wurzel und Pilzhyphen dar, wie solche manchen Gewächsen eigentümlich ist. Eine wesentliche Förderung hat die Lehre von der Mykorrhiza neuerdings durch die schönen Untersuchungen von Stahl (Jahrb. f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 34) erfahren. Dieser Forscher behandelt die ganze Mykorrhizafrage, was oft nicht genügend gewürdigt wird, unter steter Berücksichtigung der gesamten biologischen Eigentümlichkeiten der betreffenden Gewächse, und dadurch muß auch das Gewicht seiner Schlußfolgerungen wesentlich erhöht werden. Man unterscheidet heute Pflanzen mit ektotropher (z. B. Monotropa, Fagus) und endotropher (z. B. Orchideen, Ericaceen) Mykorrhiza. Die Mykorrhizapflanzen (1), z. B. Botrychium, Orchis, Gentiana, Erica, Fagus, sind von den niemals pilzführenden Gewächsen (2), z. B. Polypodiaceen, Cypripedium, Menyanthes, Cruciferen, Fraxinus, Sambucus, nach Stahl namentlich durch folgende Merkmale unterschieden: 1 relativ schwach entwickeltes, 2 stark ausgebildetes Wurzelsystem; 1 meist auf schlechterem, 2 auf besserem Boden angesiedelt; 1 unterhalten schwache, 2 lebhaftere Transpiration; 1 führen oft Zucker, 2 Stärke als Assimilate; 1 enthalten kaum Salpetersäure, 2 viel Salpetersäure in ihren Blättern; 1 sind aschenarm, 2 sind reich an Asche; 1 meist Humusbewohner, 2 auf humusarmen Böden angesiedelt. Den Sinn der Mykorrhizabildung beleuchtet Stahl, wie folgt: Die in humusreichem Boden in großer Menge lebenden Pilze bedürfen erheblicher Mineralstoffmengen (Nitrate, Phosphate, Sulfate etc.) zu ihrer Entwickelung. Die höheren Gewächse des nämlichen Standortes befinden sich mit den Pilzen in einem Konkurrenzkampfe um die Nährsalze. Für viele der höheren Gewächse war es daher im Kampf ums Dasein nützlich, sich symbiotisch mit den Pilzen zu vereinigen. Die ersteren liefern den letzteren in Form von Assimilaten organisches Material, aus welchem die Pilze unter Beihülfe der Nährsalze des Bodens Eiweiß etc. produzieren. Dies Eiweiß kommt endlich sowohl dem Pilz als auch der höheren Pflanze zu gute, so daß also beide Organismen aus der Symbiose Vorteil ziehen. Bei Monotropa etc. muß der Sinn der Mykorrhizabildung natürlich ein anderer sein. Neuere Studien machen es wahrscheinlich, daß manche Pflanzen infolge des Besitzes endotropher Mykorrhiza auch im stande sind, elementaren Stickstoff für ihr Ernährung zu verwerten.

39. Die Mykorrhiza der Pflanzen.

a) Formen der Mykorrhiza. Wir heben eine junge Buchenpflanze (Fagus silvatica) vorsichtig aus dem humusreichen Waldboden

aus, welcher ihr zum Standort diente, und bringen sie, in feuchtem Moos verpackt, ins Laboratorium. Die Wurzelmasse wird abgespült, wir schneiden von derselben feinere Fasern ab, lassen diese zum Aufweichen des anhaftenden Humus einige Zeit in Wasser liegen und untersuchen die Fasern dann bei schwacher Vergrößerung. Wurzelhaare, die aber unter bestimmten Umständen nach FRANK (vergl. Fig. 23) an Buchenwurzeln auftreten können, fehlen hier. Dafür ist die ganze Wurzeloberfläche von Pilzfäden umsponnen. Von den Wurzelfasern strahlen auch nach

Fig. 22. Buchenwurzel, in nicht sterilisierten Waldhumus gewachsen. *p* Pilzfädenstränge, bei *a* mit dem Humus verwachsen. Mehrmals vergrößert. (Nach FRANK.)

allen Richtungen hin feine Pilzfäden und recht dicke Pilzfädenstränge aus, an denen oft noch Humusteilchen haften (vergl. Fig. 22). Wir haben es hier mit ektotropher Mykorrhiza zu tun.

Endotrophe Mykorrhiza ist besonders schön an den Wurzeln von Ophrys muscifera zu beobachten. Wurzeln, zur Blütezeit dieser Pflanze untersucht, zeigen auf Querschnitten die Epidermis, pilzfreies Parenchym, eine breite, pilzführende Rindenzone und den Zentralcylinder. In der pilzführenden Zone sind die Zellen mit gelblichen Massen, den Pilzballen, erfüllt. Die Pilze der Wurzeln senden, wie neuerdings festgestellt ist, auch nach außen Pilzfäden in den Boden.

In den Wurzeln von Gymnadenia conopea liegen die pilzführenden Zellen mehr zerstreut in dem Rindengewebe.

Fig. 23. Buchenwurzel, in einem durch Sterilisierung pilzfrei gemachten Waldhumus gewachsen, unverpilzt, mit Wurzelhaaren *h*. Bei *c* die Wurzelspitze mit der Wurzelhaube. Mehrmals vergrößert. (Nach FRANK.)

b) Sterilisierungsversuch. Buchenwalderde gelangt im feuchten Zustande in eine Schale. Diese und einen Blumentopf setzen wir 4 Tage lang in einem wohlverschlossenen Glas Aetherdämpfen aus. Dann verweilt die Erde zur Entfernung des Aethers unter einer nicht luftdicht schließenden Glasglocke. Die Buchenwalderde, welche nicht sterilisiert werden soll, läßt man 8 Tage lang im feuchten Zustande in einem Glase stehen. In die sterilisirte und nicht sterilisierte Bodenmasse legen wir Samen von Sinapis alba ein. Die Pflanzen entwickeln sich an einem gut beleuchteten Ort im Zimmer. Die Untersuchungsobjekte gedeihen in Berührung mit der sterilisierten Erde viel besser als in nicht sterilisiertem Boden, weil bei der Kultur in jenem die Konkurrenz mit den Pilzen ausgeschlossen blieb, was für Sinapis, welche ja keine Mykorrhizapflanze ist, sehr wichtig sein muß. (Näheres bei STAHL.)

40. Penicilliumkulturen.

Eine Scheibe Schwarzbrot wird in einer Kristallisierschale mit Brunnenwasser übergossen und nach 15 Minuten auf einem trockenen

Teller unter eine Glasglocke gelegt. In 5 Tagen (15—20° C) hat sich, abgesehen von anderen Pilzen, reichlich Penicillium (dieser Pilz besitzt eine blaugrüne Farbe) entwickelt. Von anderen Pilzen treten auf dem Brot noch auf: Mucor stolonifer mit weißen, später schwarz werdenden Sporangien, gelbe und schwarze Aspergillusarten. Zur Kultur des Pilzes stellen wir nun 4 Kochflaschen (*a*, *b*, *c*, *d*) auf. Wir bereiten 400 ccm einer Lösung, die in 100 ccm Wasser 0,05 g phosphorsaures Ammoniak (dargestellt durch Sättigung von Phosphorsäure mit Ammoniak und Eindampfen der Lösung), 0,05 g saures-phosphorsaures Kali, 0,03 g schwefelsaure Magnesia und 0,01 g Chlorcalcium enthält. (Ueber den Zusatz eines Eisensalzes vergl. S. 35.) Die 100 ccm in *a* erhalten keinen weiteren Zusatz; *b* noch 1 g Rohrzucker; *c* 1 g Oxalsäure; *d* 1 g Citronensäure. *a* und *b* werden noch durch Zusatz einiger Tropfen sehr verdünnter Schwefelsäure angesäuert. Kolben mit Watteverschluß versehen; Flüssigkeiten durch Erhitzen sterilisieren. Von der Penicilliummasse auf dem Brot wird eine kleine Menge in 40 ccm sterilisiertem Wasser verteilt. Den Nährlösungen *a*, *b*, *c*, *d* fügen wir je 2 ccm dieser Flüssigkeit hinzu. Nach etwa 8 Tagen hat sich auf *a* und *c* keine Penicilliumdecke gebildet. Oxalsäure ist keine Kohlenstoffquelle für den Pilz. Auf *b* und *d* hat sich eine dicke Schimmeldecke entwickelt. Rohrzucker und Citronensäure sind gute Nahrungsmittel des Pilzes.

Viel reinere Kulturen von Penicillium erhält man, wenn man die Sporen des Pilzes, der sich auf Brot entwickelt hat, zunächst in eine Nährstofflösung überträgt, die, abgesehen von Mineralstoffen, Rohrzucker enthält, eine kleine Menge der gebildeten Pilzdecke in Wasser verteilt und mit dieser Flüssigkeit die Lösungen *a*, *b*, *c*, *d* infiziert.

41. Mucorkulturen.

Pferdemist bleibt einige Tage lang im Dunkeln unter einer Glasglocke stehen. Brotscheiben werden in kleinen, 6 cm weiten Bechergläsern mit Brunnenwasser übergossen. Nach 10 Minuten gießt man das Brunnenwasser ab, bedeckt die Bechergläser mit Kristallisierschalen und läßt sie 2 Stunden lang bei 100° C im Trockenschrank verweilen. Ferner werden Rosinen 6 Stunden lang in Wasser eingeweicht, der Extrakt abgegossen und in einem Kolben, der mit Watteverschluß versehen ist, sterilisiert. Endlich wird noch Wasser in einem Kolben sterilisiert.

Das Brot in den Bechergläsern übergießt man mit dem sterilisierten Rosinenextrakt und gießt die Flüssigkeit nach 5 Minuten ab. Man entnimmt dem Mucormaterial, welches sich im Laufe einiger Tage auf dem Pferdemist entwickelt hat, einige Sporangien und bringt sie mit 20 ccm sterilisierten Wassers in Berührung. Das Becherglas, welches diese Flüssigkeit enthält, die zum Zudecken dienende Kristallisierschale und der Maßcylinder sind vorher im Trockenschrank sterilisiert worden. Von der die Mucorsporen enthaltenden Flüssigkeit werden nach einer Stunde je 1 ccm mittelst einer sterilisierten Pipette auf die mit Rosinenextrakt imprägnierten Brotscheiben verteilt. Einige Scheiben werden nicht infiziert. Auf diesen entwickelt sich kein Mucor. Auf den übrigen Brotstücken entwickelt sich im Dunkeln in 2—3 Tagen eine üppige Mucorvegetation.

42. Niedere Organismen des Bodens.

Gut gereinigte Kristallisierschalen stellen wir auf Glasplatten, bedecken mit anderen Kristallisierschalen und erhitzen 2 Stunden lang,

nachdem die Gefäße etwas benetzt worden sind, im Trockenschrank. In 100 ccm Wasser bringen wir 10 g Gelatine, 1 g Traubenzucker und eine Messerspitze voll Pepton. Die Flüssigkeit wird $1^1/_2$ Stunden lang auf dem Wasserbade erhitzt. Der Boden der Kristallisierschalen wird mit der heißen Flüssigkeit bedeckt. *a* wird nicht infiziert. Ist die Flüssigkeit von *b* abgekühlt, aber noch nicht erstarrt, so bringen wir mit einer sterilisierten Pincette einige Bodenpartikelchen auf ihre Oberfläche. Nach 2—3 Tagen hat sich auf *b*, von den Bodenteilchen ausgehend, eine reiche Bakterien- und Pilzvegetation (Mucor) entwickelt.

43. Saccharomyceskulturen.

Verteilt man wenig Preßhefe in einem Wassertropfen auf dem Objektträger und untersucht mikroskopisch, so sieht man die als Verunreinigung vorhandenen Stärkekörner und die kleinen Zellen von Saccharomyces cerevisiae. Auf Zusatz von Jodjodkalium färbt sich das Protoplasma der Hefezellen bräunlich. Sie haben eine zarte Membran; in ihrem Inneren sind Vakuolen sowie das Licht stärker brechende Körnchen zu sehen. Am besten ist es, die zur Untersuchung dienende Hefe gärenden Flüssigkeiten zu entnehmen.

Wir beschicken einen Kolben *a* mit 100 ccm einer Flüssigkeit, die aus 85 Teilen Wasser, 15 Teilen Traubenzucker, 0,2 Teil KH_2PO_4, 0,02 Teil $Ca_3 2PO_4$, 0,02 Teil $MgSO_4$ und 1 Teil salpetersaurem Ammoniak besteht. In *b* bringt man 100 ccm derselben Flüssigkeit, aber ohne Zuckerzusatz. *a* und *b* werden mit Watteverschluß versehen, sterilisiert und mit je 2 ccm Hefewasser versetzt. (Näheres vergl. unter 23.) Die Gefäße werden bei 25° C im Thermostaten unter häufigerem Umschütteln sich selbst überlassen. In *a* erfolgt Gärung und Hefeentwickelung, in *b* nicht. (Näheres über Alkoholbildung bei der Gärung vergl. im 3. Abschnitt.)

44. Bakterien.

a) Ausschluß der Bakterien durch Sterilisieren. Erlenmeyersche Kolben werden mit konzentrierter Schwefelsäure und dann mit gekochtem destilliertem Wasser gereinigt. In jeden Kolben bringen wir 200 ccm einer Lösung, die in 100 ccm 1 g Rohrzucker und 0,2 g Pepton enthält. Die Flüssigkeiten sind vor dem Einfüllen in die Kolben filtriert worden. Die Mündungen der Kolben werden mit dickem Watteverschluß versehen. *a* wird nicht sterilisiert; die Flüssigkeit in *b* erhitzen wir und lassen sie $1^1/_2$ Stunden lang gelinde kochen. Zur Vermeidung der Konzentration der Lösung haben wir ihr vorher entsprechende Wassermengen zugesetzt. Im Laufe mehrerer Tage entwickeln sich in *a* viele Bakterien und auch wohl Pilze; *b* bleibt klar, da die Flüssigkeit sterilisiert und sterilisiert erhalten worden ist.

b) Bacterium Termo. Bacterium Termo (Gruppenbezeichnung für verschiedene Arten Fäulnisbakterien) stellt Stäbchen dar, die vielfach zu zweien aneinander gereiht sind und ruckweise hin und her gerichtete Bewegungen ausführen können. Zur Kultur des Spaltpilzes bereiten wir uns Cohnsche Normallösung. Diese enthält auf 200 Teile Wasser 1 g saures-phosphorsaures Kali, 1 g schwefelsaure Magnesia, 2 g neutrales weinsaures Ammoniak und 0,1 g Chlorcalcium. Wir füllen Erlenmeyersche Kolben mit je 100 ccm der Nährlösung, verschließen mit Watte und sterilisieren durch Kochen. Es werden 6 Erbsensamen mit Wasser übergossen. Nach 4 Tagen bringen wir einen Tropfen

der faulenden Flüssigkeit mittelst eines Glasstabes in die Nährlösung. Der Glasstab wird durch Erhitzen in einer Spiritusflamme sterilisiert und zur Abkühlung auf eine sterilisierte Glasplatte unter eine Glasglocke gelegt. Nicht infizierte Nährlösung ist nach 8 Tagen noch völlig klar. Die infizierten Nährlösungen werden zunächst milchig trübe, später grünlich und erhalten ein grünliches Oberflächenhäutchen (Zoogloea). Am besten ist es, einen Tropfen aus der ersten Kultur von Bacterium Termo in eine neue sterilisierte Nährlösung zu übertragen, um einen größeren Grad der Reinheit der Kultur zu erzielen.

45. Flechten.

Wir untersuchen Usnea barbata, eine heteromere Flechte, welche weitverbreitet ist. Wir verwenden frisches Material oder in Wasser aufgeweichtes Herbarmaterial und stellen einen zarten Querschnitt durch einen stärkeren Thallusast her. Bei mikroskopischer Untersuchung sieht man leicht, daß der Thallus aus einer Mark- und Rindenzone besteht. Die Elemente beider Schichten sind vielfach verzweigte Pilzhyphen. Die Rinde, sowie ein axiler Strang des Markes sind von dichter Beschaffenheit, während die periphere Region des Markes aus locker nebeneinander liegenden Hyphen, die lufthaltige Lücken zwischen sich lassen, zusammengesetzt ist. Die grünen Algen sind an der Grenze von Mark und Rinde leicht zu sehen. Sie bilden hier eine besondere Zone, die überall von Hyphen durchsetzt wird, welche vom Mark zur Rinde laufen.

46. Experimente mit Insectivoren (Drosera rotundifolia).

In der Natur gesammelte Rasen von Drosera kann man auf feuchtem Torfmoos unter einer Glasglocke kultivieren. Ein Blatt von Drosera ist

Fig. 24.

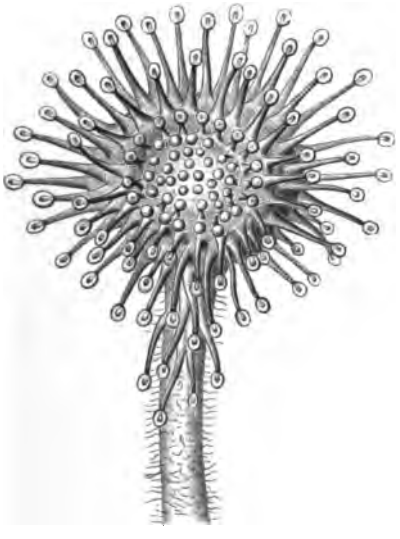


Fig. 25.

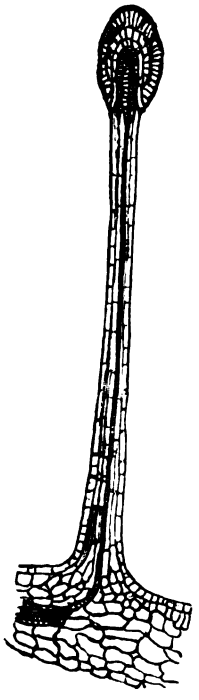


Fig. 24. Blatt von Drosera rotundifolia, von oben gesehen. 4mal vergr. (Nach DARWIN.)

Fig. 25. Tentakel mit Drüsenkopf von Drosera rotundifolia. Vergr. 60. (Nach STRASBURGER.)

in Fig. 24, ein Tentakel (bei mikroskopischer Untersuchung legt man den Tentakel zweckmäßig auf den Objektträger in einen Tropfen Chloralhydrat) in Fig. 25 dargestellt. Kontaktreize und chemische Reize bedingen Wachstumskrümmungen an den Tentakelstielen der Drosera. Perzipiert werden die Reize nur von den Drüsenköpfchen; in diesen liegen die Sinneszellen. Mechanische Reize (Kontaktreiz, nicht stationärer Druck) rufen bei D. rotundifolia Bewegung der Tentakeln und auch Säuresekretion seitens der Zellen der Drüsenköpfe hervor, während erst chemische Reize die Absonderung eines Enzyms bedingen. (Göbel, Pflanzenbiolog. Schilderungen, II, S. 197.)

Wir bringen ein Stückchen rohen Rindfleisches von der Größe eines Stecknadelkopfes auf die Mitte des Blattes eines gesunden Exemplares von Drosera rotundifolia. Nach längerer Zeit, z. B. 24 Stunden, ist die Einbiegung sämtlicher oder fast aller Tentakeln erfolgt. Sie umhüllen das Fleischstückchen nunmehr; das Sekret ihrer Drüsenköpfchen wirkt auflösend auf das Eiweiß ein. Nach Verlauf von 48 Stunden haben sich die Tentakel wieder ausgebreitet. Stickstofffreie organische oder anorganische Körper (Glassplitter oder Papierkügelchen), die man auf ein Droserablatt bringt, rufen auch Einbiegung der Tentakeln hervor, aber der Prozeß geht langsamer als bei der Reizung durch Fleischstückchen vor sich. Besonders zu beachten ist, daß, mag ein chemischer Reiz oder ein Kontaktreiz auf das Droserablatt einwirken, auch Tentakeln durch Reizfortpflanzung in Bewegung versetzt werden, deren Tentakelköpfchen nicht direkt mit der als Reizursache wirkenden Substanz in Berührung gebracht worden sind.

Das Sekret, welches ruhende Drüsenköpfchen der Drosera absondern, ist, wovon man sich leicht überzeugen kann, von klebriger Natur und dient zum Festhalten kleinerer Insekten. (Ueber Aggregation vergl. bei Darwin und Klemm, Flora, 1892.)

Zweiter Abschnitt.

Die Molekularkräfte der Pflanzen.

I. Die wichtigsten organisierten Bestandteile der Pflanzenzellen.

Die Membranen mancher Pilze (Agaricineen) bestehen wesentlich aus einem Körper der Eiweißgruppe, nämlich Chitin. Die Membranen mancher Mucorarten enthalten hauptsächlich Cellulose und Pectinverbindungen, diejenigen der Ascomyceten zumal Callose.

Dieser Körper, leicht in verdünnter Kalilauge löslich, kommt auch in den Siebröhren als Verschlußmaterial der Siebporen vor. Die Membranen der ganz jugendlichen Zellen höherer Pflanzen bestehen der Hauptsache nach aus den durch Methylenblau oder Rutheniumrot stark tingierbaren Pectinverbindungen; etwas ältere enthalten viel Cellulose. Die Membranen vieler Algen sind sehr reich an Gelose, einem Körper,

der den Pectinschleimen nahesteht. Durch Schleimstoffe sind auch die Membranen der Epidermiszellen mancher Samen, z. B. Linum usitatissimum (vergl. unter 86), stark verdickt. Die Membranen der Endospermzellen der Dattelsamen und diejenigen der Kotyledonen der Samen von Tropaeolum bestehen, abgesehen von Cellulose, aus Reservecellulose, resp. Amyloid. Diese Stoffe, welche bei der Keimung, da sie stickstofffreies Reservematerial darstellen, aufgelöst werden, bilden die Verdickungsschichten der Membranen. Aehnlich verhält sich das Paragalactan, welches neben wenig Cellulose in den Membranen der Kotyledonen von Lupinensamen vorkommt.

Bei der Verholzung wird der Holzstoff, Gemisch von Hadromal (einem aromatischen Aldehyd), Coniferin, Pentosen und Cellulose, zumal den sekundären Membranschichten eingelagert. Verkorkte Membranen enthalten Suberin, einen fettartigen Körper, cuticularisierte bestehen aus Cellulose und Cutin. Manchen Membranen sind tief gefärbte Abkömmlinge von Gerbstoffen eingelagert (Samenschalen, Kernholz). Mineralstoffeinlagerungen fehlen älteren Zellhäuten niemals; zuweilen führen die Membranen sehr große Mengen Kieselsäure, Calciumkarbonat (Cystolithen) oder Calciumoxalat. (Vergl. über vorstehendes und folgendes Strasburger, Lehrb. d. Bot. 6. Aufl.)

Die Stärkekörner, organisierte pflanzliche Gebilde von exzentrischem oder zentrischem Bau, bestehen nach A. Meyers Auffassung aus radial angeordneten Kristallnadeln (Trichiten), deren Substanz der Hauptsache nach Amyloid $(C_6H_{10}H_5)_n$ darstellt. Dieser Körper tritt in zwei Modifikationen auf, die im Stärkekorn miteinander gemischt sind, einer in Wasser von 100° C verflüssigten und einer bei dieser Temperatur noch nicht zu verflüssigenden Form. Die Schichtungsverhältnisse der Stärkekörner und ihr eigentümliches Verhalten im polarisierten Licht werden als Folge besonderer Verteilung der Trichiten in den Körnern (Dichtigkeitsunterschiede), resp. als Folge der kristallinischen Natur der Trichiten betrachtet. Es gibt Amylumkörner (Klebreis), die wesentlich aus Amylodextrin bestehen, sich daher in Kontakt mit Jod nicht blau, sondern weinrot färben.

Für die sämtlichen organisierten pflanzlichen Gebilde, die Zellhäute, Stärkekörner und plasmatischen Gebilde, ist es besonders charakteristisch, daß sie in Kontakt mit Wasser von gewöhnlicher Temperatur durch Imbibitionsprozesse vermittelte begrenzte Quellung erkennen lassen. Zum Verständnis der so wichtigen Quellungserscheinungen ist es geboten, mit Nägeli die Annahme zu machen, nach welcher die organisierten Zellenbestandteile aus kleinen Teilchen höherer Einheit (Gruppen von Molekülen), die man Micellen nennt, aufgebaut werden.

Die Micellen lebendiger protoplasmatischer Gebilde sind aus physiologischen Elementen oder lebendigen Eiweißmolekülen zusammengesetzt. Diese Micellen treten vielfach zur Bildung von Plasmawaben und Plasmafäden zusammen, und indem sich z. B. das Cytoplasma, mag es von einer Zellhaut umgeben sein oder der Zellhaut entbehren, weiter in eine die Mikrosomen führende Körnerschicht, in die Hautschicht sowie die Vakuolenwand differenziert, und in der erwachsenen Zelle in wandständiges Plasma etc. gegliedert ist, kommen jene überaus komplizierten Strukturverhältnisse zu stande, die gleich wichtig für die Lebenstätigkeit des Plasmas sind wie die chemische Konstitution seiner Bestandteile.

Ebenso wie Cytoplasma enthalten auch Kern, Chlorophyllkörper, Farbstoffkörper und Leukoplasten lebendiges Eiweiß. Dies letztere

kann durch Austrocknen inaktiv werden, aber lebensfähig bleiben (ruhende Samen und Sporen). Die Eiweißkörper der Aleuronkörner und ihrer Einschlüsse (ebenso im Zellsaft gelöstes Eiweiß und das Eiweiß des Schleimes der Siebröhren) sind nicht lebendig, sondern tot, können aber vitalisiert werden.

Das Cytoplasma reagiert zumeist alkalisch, manchmal auch neutral. Abgesehen von Wasser sind die protoplasmatischen Zellenbestandteile immer reich an den für sie in erster Linie charakteristischen Eiweißstoffen. Ueberdies enthalten sie viele andere Körper (von außen aufgenommene Snbstanzen und Stoffwechselprodukte), z. B. Mineralstoffe, Zucker, Fette, Lecithin, Cholesterin etc. Die Zellkerne, von besonderer Wichtigkeit „als Träger erblicher Eigenschaften" und, wie sich vielfach aus ihrer Lage in der Zelle ergibt, für die Regulierung der Wachstumsvorgänge, sind reich an Nuclein.

Zwischen den Plasmamassen benachbarter Zellen ist vielfach durch zarte, die Zellhaut durchsetzende Plasmafäden eine Verbindung hergestellt (Plasmaverbindungen, Plasmodermen).

47. Cellulosemembran.

Einige Wattefäden werden auf den Objektträger in einen Wassertropfen gebracht. Nach dem Auflegen des Deckglases untersuchen wir mikroskopisch. Es läßt sich leicht feststellen, daß die Fäden, welche bekanntlich die Samenhaare von Gossypium darstellen und im großen und ganzen kegelförmige Gestalt haben, relativ dicke Membranen besitzen und sich auf Zusatz von Jodjodkaliumlösung (bereitet durch Auflösen von 0,05 g Jod und 0,2 g Jodkalium in 15 g H_2O) nur bräunlich färben. Wir lassen nun Schwefelsäure (Gemisch von 2 Teilen konzentrierter Schwefelsäure und 1 Teil Wasser) vom Deckglasrande aus zum Objekt treten und beobachten alsbald, daß sich die Haare blau färben. Die Membranen anderer Zellen, welche ebenso wie diejenigen der Baumwollenhaare der Hauptsache nach aus Cellulose bestehen, geben dieselbe Reaktion. Desgleichen färben sich alle im wesentlichen aus Cellulose bestehenden Membranen der Pflanzenzellen bei Behandlung mit Chlorzinkjodlösung violett, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man einge Wattefasern auf dem Objektträger mit dem Reagens behandelt. Die Chlorzinkjodlösung bereitet man in folgender Weise: Man löst reines Zink in Stangen in reiner Salzsäure bei gewöhnlicher Temperatur bis zur Sättigung auf, dampft unter stetem Vorhandensein metallischen Zinkes zur Schwefelsäurekonsistenz ein, setzt so viel Jodkalium hinzu, wie aufgenommen werden kann, und trägt endlich bis zur Sättigung Jod in die Flüssigkeit ein, das sich allmählich auflöst.

48. Cuticula.

Stellt man Querschnitte aus einjährigen Stengeln von Viscum album, durch das Blatt von einer Aloëspecies oder durch das Blatt von Ilex aquifolium her, so überzeugt man sich von dem Vorhandensein einer sehr dicken Cuticula. Die Cuticula vieler Blätter und anderer Pflanzenteile ist dünn und von zarter Beschaffenheit. Werden Querschnitte eines Aloëblattes auf dem Objektträger mit Kalilauge behandelt, so tritt Gelbfärbung der cuticularisierten Schichten ein (Cutinreaktion).

49. Korkgewebe.

Wir untersuchen Querschnitte der Kartoffelschale oder des gewöhnlichen Flaschenkorkes. Die in radialen Reihen angeordneten Korkzellen

sind von mehr oder minder tafelförmiger Gestalt. Kalilauge färbt das Korkgewebe gelb: schwaches Erhitzen befördert das Zustandekommen der Reaktion.

50. Verholzte Membranen.

a) Phloroglucinreaktion. Ein Fichtenholzspan wird mit alkoholischer Phloroglucinlösung betupft. Wir lassen den Alkohol verdunsten und bringen mittelst eines Glasstabes einen Tropfen konzentrierter Salzsäure auf die mit dem Phloroglucin imprägnierte Stelle des Holzes. Es tritt Rotfärbung ein. Diese Holzreaktion ist sehr scharf und wird durch die Gegenwart des Hadromals im Holz bedingt.

Wenn man in angegebener Weise gutes Schreibpapier und Zeitungspapier mit Phoroglucin und Salzsäure behandelt, so färbt sich nur das letztere infolge seines Holzstoffgehaltes rot. Wir stellen einen Querschnitt durch einen 3- oder 4-jährigen Lindenzweig her. Das mikroskopische Bild ist leicht zu deuten, und vor allem interessiert uns hier der insbesondere aus Gefäßen von verschiedener Weite und Holzfasern bestehende Holzteil der Gefäßbündel, sowie der Bastteile derselben. Die Bastmassen sind keilförmig zugespitzt, und zwar sind ihre Spitzen der Rinde zugewandt, während die keilförmigen Enden der primären Markstrahlen, welche mit den Bastmassen abwechseln, ihre Spitzen dem Holz zukehren. In den Bastmassen wechseln hell erscheinende Streifen, die aus sehr stark verdickten Bastfasern bestehen, mit dunkel erscheinenden Weichbaststreifen ab. Wir legen unseren Querschnitt jetzt auf dem Objektträger in einen Tropfen alkoholischer Phloroglucinlösung. Nach Verlauf einiger Zeit, wenn der Alkohol verdunstet ist, betupfen wir den Schnitt mit etwas konzentrierter Salzsäure und beobachten ihn mikroskopisch. Alle verholzten Elemente haben sich rot gefärbt, die unverholzten sind farblos geblieben, so daß das Phloroglucin also als ein vorzügliches Reagens auf Holzsubstanz anzusehen ist. Es interessiert uns hier besonders, daß nicht allein die Elemente des eigentlichen Holzkörpers, der Fibrovasalstränge, sondern auch die Elemente der Bastfaserstreifen zwischen den Weichbaststreifen rot gefärbt erscheinen, also verholzte Membranen besitzen.

Wenn man Querschnitte aus 2 mm dicken Zweigen von Fagus silvatica in der angegebenen Weise mit Phloroglucin und Salzsäure behandelt, so ergibt sich, daß in den folgenden Geweben Verholzung eingetreten ist: im gesamten Mark, in den Markstrahlen, im Holzteil der Gefäßbündel und in den Bastfaserbelegen, welche sich nach außen an den Weichbast anschließen. Die Elemente des Cambiums, des Weichbastes, des Rinden- und Peridermgewebes sind nicht rot gefärbt, also auch nicht verholzt.

b) Reaktion mit schwefelsaurem Anilin. Man stellt eine konzentrierte Lösung des schwefelsauren Anilins her, der man noch etwas Schwefelsäure hinzufügt. Einen Tropfen des Reagens fügt man dann dem auf dem Objektträger liegenden Untersuchungsobjekt zu. Die verholzten Elemente färben sich schnell mehr oder minder gelb. Leuchtend goldgelb färben sich z. B. die Bastfaserbelege der Zweige von Fagus silvatica.

51. Gelose.

Zarte Querschnitte aus einem Laminariastift und einige Wattefäden bringt man in eine Rutheniumrotlösung (durch Auflösen einer sehr kleinen Rutheniumrotmenge in Wasser hergestellt). Nach 10 Minuten spült man beide Objekte gut ab und läßt sie noch 1 Stunde in viel

Wasser liegen. Die Wattefäden haben sich kaum rot gefärbt; der Laminariaschnitt zeigt eine intensiv rote Färbung (Gelosereaktion bei Laminaria).

52. Reservecellulose.

Dieselbe, nicht völlig identisch mit gewöhnlicher Cellulose, ist z. B. im Dattelsamen vorhanden und wird bei der Keimung desselben aufgelöst, um als plastisches Material zu dienen. Ein Dattelkern wird quer durchschnitten. Mit Hülfe eines sehr scharfen Rasiermessers aus dem Endosperm hergestellte Querschnitte zeigen gestreckte Zellen, deren stark verdickte Wände mit einfachen Tüpfeln versehen sind. Bei der Behandlung der Schnitte mit Jodjodkalium und Schwefelsäure (vgl. unter 47) färben sich die Verdickungsschichten der Zellwände, ebenso wie gewöhnliche Cellulose schön blau.

53. Amyloid.

Es werden Querschnitte aus den Kotyledonen von Tropaeolum majus hergestellt. Die Parenchymelemente sind mit stark getüpfelten verdickten Membranen versehen. Die Verdickungsschichten färben sich bei Behandlung mit verdünnter Jodjodkaliumlösung direkt blau; sie bestehen nicht aus Reservecellulose, sondern aus Amyloidsubstanz, welche bei der Keimung verbraucht wird.

54. Stärkekörner.

a) Schichtung der Stärkekörner. Eine Kartoffelknolle wird zerschnitten. Man schabt etwas von der Schnittfläche ab und verteilt

Fig. 26.

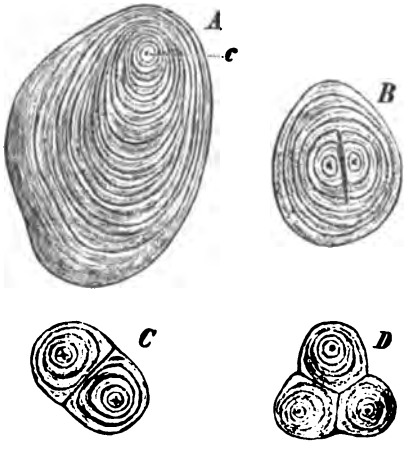


Fig. 27.

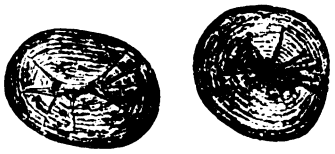


Fig. 26. Stärkekörner aus der Kartoffelknolle. A ein einfaches, B ein halb zusammengesetztes, C und D ganz zusammengesetzte Stärkekörner. *c* der organische Kern. Vergr. 540. (Nach STRASBURGER.)

Fig. 27. Stärkekörner aus den Kotyledonen von Phaseolus vulgaris. Vergr. 540. (Nach STRASBURGER.)

die Substanz im Wassertropfen. Die mikroskopische Untersuchung lehrt, daß die einzelnen Körner recht verschiedene Größe besitzen und exzentrisch geschichtet sind (vergl. Fig. 26).

Die Stärkekörner der Kotyledonen von Phaseolus sind zentrisch gebaut. Untersucht man sie im Wassertropfen, so erblickt man in der Mitte eines jeden Kornes eine Höhlung, von der radial gerichtete Spalten ausstrahlen (vergl. Fig. 27). Diese Höhlung entsteht aber erst unter dem Einfluß des Wassers, denn in Glycerin beobachtete Stärkekörner lassen dieselbe nicht erkennen.

Die Amylumkörner aus dem Endosperm des Weizens haben recht

verschiedene Größe. Sie sind zentrisch gebaut. Schichtungserscheinungen lassen sich schwer erkennen.

b) Verhalten der Stärke zum Jod. 1 g Stärke wird mit 100 ccm Wasser übergossen. Wir erhitzen unter häufigem Umschütteln. Es entsteht ein trübes Gemisch von Amylumsubstanz und Wasser (Kleister). Fügt man dem erkalteten Kleister etwas Jodjodkaliumlösung hinzu, so nimmt die Flüssigkeit eine sehr charakteristische, schön blaue Farbe an. Erwärmt man den durch Jodzusatz blau gefärbten Kleister, so verschwindet die blaue Farbe desselben alsbald; sie tritt aber beim Abkühlen der Flüssigkeit wieder hervor.

Sehr wenig Stärke, z. B. Kartoffelstärke, wird in einem Wassertropfen auf dem Objektträger verteilt. Wir legen auch noch ein Jodsplitterchen in den Tropfen, bedecken mit Deckglas und finden bei mikroskopischer Untersuchung, daß sich die Stärkekörner alsbald schön blau färben. Zu einem Stärkepräparat lassen wir vom Deckglasrande aus verdünnte Jodjodkaliumlösung treten. Die Stärkekörner färben sich allmählich immer intensiver blau.

Trockene Kartoffelstärke wird auf dem Objektträger in einen Tropfen durch Auflösen von Jod in absolutem Alkohol frisch bereiteter Jodtinktur gebracht. Die Körner nehmen eine bräunliche Farbe an; erst auf Wasserzusatz färben sie sich blau.

c) Verhalten der Stärkekörner im polarisierten Licht. Es ist sehr lehrreich, sich über die von Mohl und Nägeli studierten Erscheinungen spezieller zu unterrichten, welche Stärkörner zeigen, wenn man sie im polarisierten Licht untersucht. Man bedarf dazu freilich eines Polarisationsapparates und eines Mikroskopstatives mit hinreichend hohem Objekttisch. Der Polarisator wird in den Schlitten der Cylinderblendung eingeschoben. Als Analysator benutzt man am besten das Analysatorokular von Abbe, welches ebenso wie der Polarisator von Zeiss in Jena zu beziehen ist.

Die Stärkekörner (am besten benutzt man Kartoffelstärke) werden in gewöhnlicher Weise in einem Wassertropfen auf dem Objektträger verteilt und mit Deckglas bedeckt. Wenn die Polarisationsebene des Analysators und Polarisators parallel zueinander stehen, so erscheint das Gesichtsfeld hell, und unter diesen Umständen muß die Einstellung der Objekte vorgenommen werden. Bei gekreuzter Stellung der Nicols (dieselbe ist leicht zu erreichen, indem wir das Analysatorokular drehen) erscheint das Gesichtsfeld dunkel. Die Amylumkörner heben sich sehr hell vom dunklen Grunde ab und tragen ein schwarzes Kreuz. Sehr schöne Farbenphänomene treten hervor, wenn man Stärkekörner mit Hülfe des Polarisationsmikroskopes untersucht, nachdem zwischen das Objekt und den Polarisator Gipsplättchen von bestimmter Beschaffenheit eingeschaltet worden sind.

55. Protoplasmatische Gebilde der Pflanzen.

a) Cytoplasma. Einer im Oeffnen begriffenen Blüte von Tradescantia virginica entnehmen wir mit Hülfe einer Pincette einige Staubfadenhaare; diese Haare sitzen an den Filamenten und sind violett gefärbt. Das Untersuchungsobjekt gelangt in den Wassertropfen auf dem Objektträger und wird mit dem Deckglas bedeckt. Jedes Haar besteht aus einer Anzahl von Zellen, die zu einem Faden verbunden sind. Zellhaut, violetter Zellsaft, Zellkern und Cytoplasma sind leicht zu sehen, Letzteres ist, wie überhaupt oft in entwickelten Pflanzenzellen, in einen

wandständigen Teil, in die Stränge und Bänder, sowie in eine den Kern umgebende Partie gegliedert (vergl. Fig. 28). Auf die Bewegung des Protoplasma kommen wir später zurück. Gute Objekte zum Studium des Cytoplasma stellen auch ohne jede weitere Präparation zu verwendende Blätter aus der Knospe von Elodea, ebenso die Haare junger Blattstiele von Cucurbita dar.

Das Cytoplasma ist dort, wo es an fremde Medien (Zellhaut, Zellsaft) grenzt, von einer hyalinen Schicht (Hautschicht, Vakuolenschicht) umgeben. Das Vorhandensein der Haut- und Vakuolenschicht ergibt sich immer aus physiologischen Tatsachen. Mikroskopisch läßt sich die Hautschicht nur in besonderen Fällen leicht nachweisen, z. B. in Nitellazellen.

Fig. 28. Eine Zelle aus einem Staubfadenhaar von Tradescantia virginica. Vergr. 240. (Nach STRASBURGER.)

b) Plasmaverbindungen. Für die Beurteilung vieler Fragen der Pflanzenphysiologie (Stoffwanderung, Reiztransmission) ist es von großer Bedeutung, daß in neuerer Zeit in zahlreichen Fällen das Vorhandensein von Protoplasmaverbindungen zwischen benachbarten Zellen konstatiert wurde. Um diese Verbindungen z. B. bei Strychnus nux vomica nachzuweisen, verfuhr TANGL (Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik, Bd. 12) derartig, daß er aus den tiefer liegenden Endospermschichten parallel zur Oberfläche des trockenen Samens Schnitte herstellte und diese 5 Minuten lang in einem Probierglas mit Jodjodkaliumlösung in Berührung ließ, etwas Wasser zusetzte und durchschüttelte. Die Objekte wurden nun im Wassertropfen untersucht. Es ergab sich, daß von den Protoplasten gelb gefärbte Fäden ausstrahlen, welche, die Zellmembran durchsetzend, mit den Fäden der Nachbarzellen verbunden sind. Behandlung der Schnitte mit alkoholischer Jodtinktur und hierauf mit Chlorzinkjodlösung ergab besonders schöne Bilder.

c) Zellkern. Die Zellkerne nehmen, mit Jodjodkaliumlösung behandelt, eine gelbe Farbe an. Methylgrünessigsäure (hergestellt durch Eintragen von etwas Methylgrün in 1-proz. Essigsäure) tingiert die Kerne sehr schön und läßt sie deutlich hervortreten, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man Epidermisstreifen, die von einem Aspidistrablatt abgezogen worden sind, mit dem Reagens behandelt. Man untersuche ferner die Kerne in den Epidermiszellen der Blätter von Echeveria globosa. Große Kerne sind auch in den Haaren junger Blattstiele von Cucurbita (im Winter ist die Pflanze im Gewächshaus zu kultivieren) vorhanden. Wir benutzen Epidermisstreifen der Stiele des ersten Laubblattes und tingieren mit verdünnter Jodjodkaliumlösung. Der Nucleingehalt der Kerne soll später nachgewiesen werden.

d) Stärkebildner. Ein besonderes Interesse besitzen die Stärkebildner für uns, Leukoplasten, denen, wie SCHIMPER zuerst zeigte, die Funktion zukommt, aus wandernden oder schon in Reservestoffbehälter übergegangenen gelösten Kohlehydraten Amylumkörner zu regenerieren. Die schönsten und größten Stärkebildner, welche man kennt, sind in den Scheinknollen von Phajus grandifolius anzutreffen. Die zu den Orchideen

gehörende Pflanze kann man z. B. zum Preise von 3 M. pro Exemplar von Haage & Schmidt in Erfurt beziehen. Zur Untersuchung wählen wir eine nicht zu alte Knolle, halbieren dieselbe und stellen aus ihrer Scheitelgegend dünne Längsschnitte her, die bis zur grün gefärbten Knollenoberfläche reichen. Es ist am besten, die Schnitte schnell in konzentrierte Pikrinsäure zu übertragen, um sie in dieser zu beobachten. Die Stärkebildner der Zellen der inneren Schnittteile sind farblos; nach außen zu werden die Stärkebildner freilich größer, aber ihre protoplasmatische Grundmasse ist mit Chlorophyllfarbstoff imprägniert. Die im Profil gesehenen Stärkebildner (vergl. Fig. 29) erscheinen stäbchenförmig. Sie haben infolge der Pikrinsäurebehandlung eine gelbliche Farbe angenommen, während die ihnen ansitzenden größeren oder kleineren Stärkekörner nicht gefärbt sind.

e) Aleuronkörner. Aus einem trockenen Samen von Ricinus communis stellen wir nach Entfernung der Schale sehr dünne Querschnitte her. Das Endosperm läßt sich sehr gut schneiden, und die

Fig. 29.

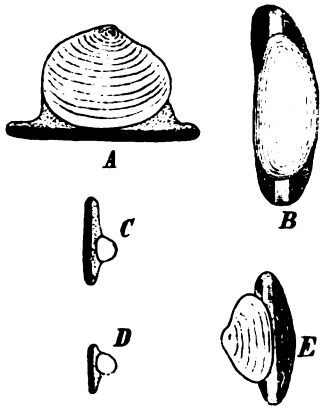


Fig. 29. Phajus grandifolius, Stärkebildner aus der Knolle. A, C, D und E von der Seite, B von oben gesehen. Vergr. 540. (Nach Strasburger.)

Fig. 30.

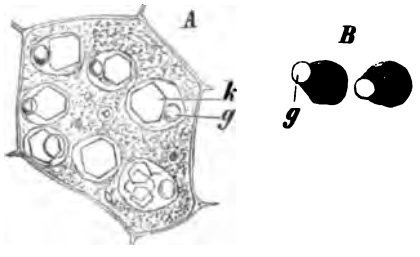


Fig. 30. Aus dem Endosperm von Ricinus communis. A eine Endospermzelle mit Inhalt unter Wasser, B einzelne Aleuronkörner in Olivenöl. *g* das Globoid, *k* Kristalloid. Vergr. 540. (Nach Strasburger.)

Fig. 31.

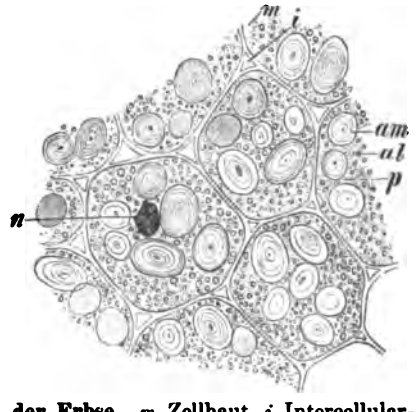


Fig. 31. Zellen aus den Kotyledonen der Erbse. *m* Zellhaut, *i* Intercellularraum, *am* Stärke-, *al* Aleuronkörner, *p* Grundsubstanz, *n* Zellkern, letzterer nach der Behandlung mit Methylgrünessigsäure ergänzend eingetragen. Vergr. 240. (Nach Strasburger.)

Schnitte können im Wasser untersucht werden, da sich dessen störende Wirkung erst langsam geltend macht. In den Endospermzellen sind große Aleuronkörner, eingebettet in eine eiweiß- und fettreiche Grundsubstanz, vorhanden. Die Aleuronkörner sehen fast aus wie Stärkekörner; fügt man aber dem Präparat vom Deckglasrande aus Jodjodkaliumlösung hinzu, so färben sich die Aleuronkörner gelb. Sie zeigen

überhaupt Eiweißreaktionen, und in ihnen ist ein bedeutender Teil des Reserveeiweiß des Endosperms gespeichert. Ueber den Nachweis der Einschlüsse der Aleuronkörner (Eiweißkristalloide, Globoide) vergleiche in STRASBURGERS Praktikum. (Vergl. auch PFEFFER, Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik, Bd. 8 und Fig. 30.)

Wir stellen ferner zarte Querschnitte aus den Kotyledonen einer reifen, trockenen Erbse her. Auf die Schnittfläche bringen wir etwas Glycerin und untersuchen das Objekt auch in Glycerin, dem wir etwa $^1/_3$ destilliertes Wasser hinzugefügt haben. Das mikroskopische Bild, welches wir beobachten, ist in Fig. 31 dargestellt. Wir sehen rundliche Zellen, welche dreieckige Intercellularräume zwischen sich lassen. In den Zellen befindet sich eine sehr feinkörnige Grundsubstanz. Dieser sind die ziemlich großen Stärkekörner und die kleinen Aleuronkörner eingelagert. Auf Jodzusatz färben sich die Amylumkörner blau, die

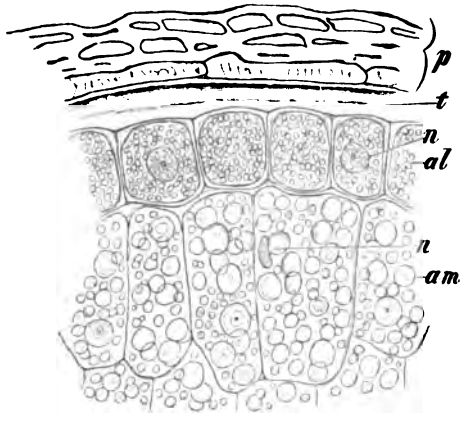


Fig. 32. Querschnitt durch ein Weizenkorn (Triticum vulgare). *p* Fruchthülle, *t* Samenhaut. In den an letztere anstoßenden Endospermzellen: *al* Aleuron-, *am* Stärkekörner, *n* Zellkern. Vergr. 240. (Nach STRASBURGER.)

Grundsubstanz sowie die Proteïnkörner, da sie wesentlich aus Eiweißstoffen bestehen, aber gelb. Zarte Schnitte aus den Erbsenkotyledonen, in Methylgrünessigsäure gebracht, lassen erkennen, daß in jeder Zelle ein Zellkern, der sich grünblau gefärbt hat, vorhanden ist.

Wenn wir aus einem reifen Weizenkorn unter Betupfen der Schnittfläche mit Glycerin einen zarten Querschnitt herstellen und denselben in Glycerin legen, um ihn mikroskopisch zu untersuchen, so finden wir, daß dicht unter der Frucht- und Samenschale, die wir an anderer Stelle eingehender besprechen werden, eine Schicht rechteckiger Zellen liegt. Die Zellen enthalten keine Stärkekörner, wohl aber viele kleine Aleuronkörner. Die Zellen des tiefer liegenden Gewebes führen reichliche Amylummengen (vergl. Fig. 32).

II. Zerstörung der Molekularstruktur.

Schädlichen äußeren Einflüssen gegenüber verhalten sich die Pflanzen und Pflanzenteile sehr verschiedenartig, je nach ihrer spezifischen Natur, ihrem Entwickelungszustande, ihrer momentanen Beschaffenheit und je nach der Dauer der Einwirkung jener störend oder vernichtend tätigen Faktoren. Auch ist hier zu bedenken, daß Fälle vorkommen, in denen z. B. ein physiologischer Prozeß durch gewisse Eingriffe nahezu oder völlig sistiert werden kann, während andere Vorgänge nicht alteriert werden. Immer ist in erster Linie Gewicht auf die Schädigungen zu legen, welche das Protoplasma erleidet.

1) Mechanische Eingriffe. Hinreichend energisch einwirkende Eingriffe, z. B. stärkerer Druck, zerstören natürlich die Struktur der Zellen und töten dieselben.

2) Lichtwirkung. Die Schädigungen, welche Zellen durch künstlich konzentriertes Sonnenlicht erfahren, werden hauptsächlich durch die stärker brechbaren Strahlen hervorgerufen. Manche Bakterien gehen zu Grunde, wenn sie direktem Sonnenlicht ausgesetzt sind.

3) Austrocknen. Viele Moose, Flechten, Sporen und Samen sterben nicht ab, wenn sie in den lufttrockenen Zustand übergeführt werden. Manche Samen ertragen sogar eine Zeit lang völliges Austrocknen bei 110° C. Ob gänzliche Wasserentziehung, selbst bei gewöhnlicher Temperatur, längere Zeit ertragen werden kann, ist fraglich. Auf Stengel, Blätter etc. wirkt beträchtlichere Wasserentziehung meist tödlich ein.

4) Wirkung der Elektrizität. Durch schwächere elektrische Ströme werden manche physiologische Prozesse (z. B. Plasmaströmungen) nur vorübergehend sistiert. Stärkere Ströme töten die Zellen.

5) Kältewirkung. a) Es gibt Pflanzenteile, die schon absterben (erfrieren), wenn sie relativ kurze Zeit bei Temperaturen etwas über 0° C verweilen (Molisch, Unters. über d. Erfrieren d. Pflanzen, 1897). b) Die meisten saftreichen Pflanzenteile (z. B. Blätter, Kartoffelknollen) sind erfroren, wenn sie gefrieren, wenn sich also Eis in ihren Geweben bildet. c) Einige Früchte (Aepfel, Birnen) gehen durch das Gefrieren an sich noch nicht zu Grunde; sie bleiben bei langsamem Auftauen vielmehr am Leben, bei schnellem Auftauen sterben sie aber ab. d) Wurzelblätter von Primula, Stellariapflanzen etc. können — 8° C, Helleborus — 17° C, manche Moose unter — 20° C ausgesetzt werden, ohne daß die gefrorenen Untersuchungsobjekte selbst bei schnellem Auftauen absterben. Tiefere Temperaturen können die genannten Pflanzenteile aber töten. e) Trockene Sporen und Samen ertragen über — 100° C. Es ist möglich, daß so bedeutende Kältegrade das Leben aber doch schließlich vernichten, wenn die selbst völlig wasserfreien Objekte ihnen längere Zeit ausgesetzt sind. (Näheres in Pfeffers Handbuch.)

Beim Gefrieren der Pflanzenteile bildet sich das Eis zumeist nicht in deren Zellen, sondern das denselben entstammende Wasser gefriert in den Intercellularen (Sachs). Vielfach ist der auf solche Art zu stande kommende Wasserverlust der Zellen Ursache ihres Todes. Die Wasserentziehung (bei den unter d genannten Objekten kommt sie erst bei recht tiefen Temperaturgraden in ausgedehnterem Umfange zur Geltung) ruft eine Zerstörung der Struktur des Plasmas hervor, welche sich namentlich durch völlig verändertes Verhalten der Hautschicht und Vakuolenwände bei diosmotischen Prozessen zu erkennen gibt.

Das Gefrieren erfolgt nicht bei 0° C, sondern bei tieferen Temperaturen (z. B. — 2° oder — 4° C), da die Säfte der Zellen Stoffe in Lösung enthalten, und das Imbibitionswasser mit gewisser Energie zurückgehalten wird. Ist die Unterkühlungstemperatur erreicht, so wird bei der nunmehr erfolgenden Eisbildung natürlich Wärme frei. Die Temperatur der Pflanzenteile steigt schnell auf den Gefrierpunkt (ca. — 1° C) und sinkt dann erst allmählich auf die Temperatur der Umgebung (Müller-Thurgau, Landw. Jahrb., Bd. 9).

6) Wirkung höherer Temperaturen. a) Die meisten turgeszierenden Pflanzenteile sterben ab, wenn sie 10—20 Minuten lang einer Temperatur von 45—48° C im Wasser oder einer Lufttemperatur von ca.

52° C ausgesetzt sind (Sachs, Flora, 1864). Höhere Temperatur wirkt viel schneller tödlich. Die Zerstörung der Molekularstruktur des Plasmas kann oft leicht konstatiert werden (Detmer, Botanische Zeitung, 1886). b) Es gibt Bakterien, die in Thermen noch bei 70° C leben. c) Mit Wasser durchtränkte Sporen des Heubacillus ertragen einige Zeit lang 100° C, völlig ausgetrocknete Samen sogar 110° C.

7) Giftwirkungen. Sehr ausgesprochene Gifte für die Pflanze sind z. B. Kupfer-, Quecksilbersalze, Salicylsäure, viele andere organische Körper, Schwefelwasserstoff, Leuchtgas. Stoffe, die in größerer Dosis tödlich wirken, z. B. Chloroform, können, in kleinen Mengen den Pflanzen dargeboten, nur einen lähmenden Einfluß auf gewisse physiologische Prozesse geltend machen oder den Verlauf derselben sogar, wenigstens vorübergehend, beschleunigen (Wirkung kleiner Chloroformquantitäten auf die Atmung). Auch ist zu beachten, daß manche Stoffe, die in gewisser Menge tödlich auf bestimmte Objekte einwirken, andere Objekte nicht oder kaum schädigen. Spirogyra ist äußerst empfindlich gegen Kupfersalze; Penicillium recht widerstandsfähig. Schwefelwasserstoff ist ein heftiges Gift für die meisten Pflanzen; die Schwefelbakterien ertragen größere Mengen des Gases. (Vergl. Pfeffer, Handbuch, Bd. 2.)

56. Mechanische Eingriffe.

Das Gewebe der Spreite des Blattes von Begonia manicata (diese Pflanze ist stets im Gewächshaus vorrätig zu halten, da sie für viele Experimente über Zerstörung der Molekularstruktur sehr geeignet ist) wird an einer Stelle mit den Fingern stark zusammengepreßt. Das Gewebe nimmt an der gedrückten Stelle alsbald eine bräunliche Färbung an. Die mikroskopische Untersuchung von Flächenschnitten lehrt, daß die Chlorophyllkörner in den Zellen mißfarbig geworden sind. Durch den Druck ist eine Zerstörung der protoplasmatischen Zellenbestandteile herbeigeführt worden. Dieselben sind infolgedessen permeabel für den sauren Zellsaft geworden, und dieser hat zersetzend auf das Chlorophyllpigment eingewirkt.

57. Austrocknen.

10 Samen von Phaseolus werden 24 Stunden lang angequollen und dann etwa eine Woche lang zum Austrocknen an die Luft gelegt. Nunmehr in feuchte Sägespäne übertragen, keimen die Samen alsbald; sie entwickeln Wurzeln und oberirdische Teile. Werden Keimpflanzen von Phaseolus, deren Epikotyl bereits einige Centimeter lang ist, durch Liegenlassen an der Luft ausgetrocknet und dann wieder in feuchte Sägespäne eingesetzt, so erholen sich die Untersuchungsobjekte nicht wieder, sondern gehen alsbald zu Grunde.

58. Wirkung der Elektrizität.

a) Protoplasmabewegungen. Um den Einfluß elektrischer Ströme auf Plasmabewegungen zu untersuchen, verwende man Blätter aus der Knospe von Elodea canadensis oder Staubfadenhaare der im Oeffnen begriffenen Blüten von Tradescantia virginica als Beobachtungsmaterial. Ueber Protoplasmabewegungen überhaupt vergl. unter 201. Die Untersuchungsobjekte werden im Wassertropfen unter Deckglas der mikroskopischen Beobachtung unterzogen, und die Objektträger haben die in Fig. 33 dargestellte Form. Auf der Glasfläche *G* sind 2 Messingplatten *M*, *M* mit Asphaltlack (Auflösung von Asphalt in Terpentinöl)

festgekittet. An jeder Messingplatte ist eine Klemmschraube *K* festgelötet. Die beiden Stanniolblättchen *St*, *St* werden mit Hülfe von Asphaltlack auf den Messingplatten und der Glasplatte befestigt; sie lassen einen Zwischenraum zwischen sich, der dem Wassertropfen, in welchem sich das Untersuchungsobjekt befindet, Raum gewährt. Will man die Einwirkung von Induktionsströmen auf die Pflanzenzellen studieren, so schraubt man die Enden der vom Induktionsapparat kommenden Drähte am Objektträger fest und kann nun die mikroskopische Beobachtung anstellen, während die Ströme ihren Einfluß auf die Zellen geltend machen. Es ist bei physiologischen Untersuchungen wichtig, die Stärke der Ströme regulieren zu können, und daher verwende man Induktionsapparate, wie sie für medizinische Zwecke von den Mechanikern geliefert werden.

Fig. 33.

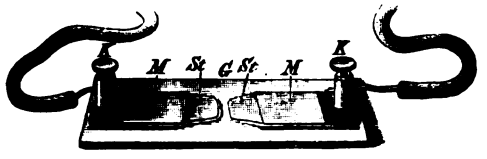


Fig. 34.

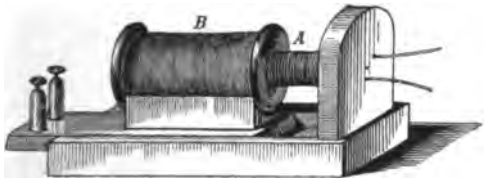


Fig. 35.

Fig. 33. Objektträger zur Untersuchung der Einwirkung elektrischer Ströme auf Pflanzenteile.
Fig. 34. Induktionsapparat.
Fig. 35. Chromsäureelement.

Diese Apparate sind gewöhnlich samt dem stromerregenden Elemente in einem geeigneten Kasten angebracht. Die Regulierung der Stromstärke kann auch mittelst des Schlittenapparates von Du Bois-Reymond vorgenommen worden (vergl. Fig. 34), bei dessen Benutzung man die Drahtenden der Hauptspirale *A* mit dem Elektromotor und dem Rheotom verbindet, während von der Nebenspirale *B* aus die Verbindung mit den Klemmschrauben des Objektträgers hergestellt wird. Gewöhnlich ist der Schlittenapparat mit dem Rheotom (meistens einem magnetischen Hammer), der in Fig. 34 nicht dargestellt ist, verbunden. Als stromerregendes Element verwendet man zweckmäßig das in Fig. 35 abgebildete Chromsäuretauchelement. Die Flasche enthält eine Lösung, die man darstellt, indem man 92 g gepulvertes doppeltchromsaures Kali mit 93,5 ccm konzentrierter Schwefelsäure, das Pulver allmählich zusetzend, mischt. Unter Umrühren löst man die Masse dann in 900 ccm Wasser. Die Zinkplatte des Elementes kann zwischen den Kohlenplatten mittelst eines Stabes eingesenkt oder, wenn der Apparat außer Tätigkeit gesetzt werden soll, über das Flüssigkeitsniveau emporgehoben werden.

Bei den Versuchen mit Blättern von Elodea findet man, daß schwächere Induktionsströme die Protoplasmabewegung in den Zellen sistieren; nach Aufhebung des Stromes stellt sich dieselbe allmählich

wieder ein. Stärkere Induktionsströme sistieren die Protoplasmabewegung in einer Zelle für immer. Da stärkere Ströme die Zellen töten und der abgestorbene Zustand des Protoplasmas leicht daran kenntlich ist, daß dasselbe permeabel für manche Stoffe (z. B. Farbstoffe) wird, die es im lebenden Zustande nicht durchläßt, so würde es instruktiv sein, auf Haare der Staubfäden von Tradescantia elektrische Ströme einwirken zu lassen. Das Absterben der Zellen müßte sich leicht an dem Farbstoffaustritt aus dem Zellsaft, resp. aus den Zellen feststellen lassen. Bei Untersuchungen über den Einfluß elektrischer Ströme auf Pflanzenzellen achte man auch auf die Formänderungen, welche das Protoplasma unter der Einwirkung der Ströme erleidet.

b) Experimente mit Begoniablättern. Lehrreich ist es ferner, das folgende Experiment auszuführen. Man lege 2 Blattstücke von Begonia manicata, die einige Centimeter Länge besitzen, auf eine Glasplatte. Durch das eine Blattstück schickt man nun etwa 15 Minuten lang einen nicht zu schwachen Induktionsstrom, indem man die Elektroden (kleine Metallstücke) den beiden Enden des Blattstreifens auflegt. Das zweite Blattstück dient nur als Vergleichsobjekt. Nach der angegebenen Zeit gelangen beide Blattstreifen in ein verschlossenes Glas. Der nicht elektrisierte Pflanzenteil bleibt grün und frisch; der elektrisierte bräunt sich alsbald, verliert seinen Turgor und wird schlaff, weil der Induktionsstrom das Protoplasma seiner Zellen getötet hat.

59. Einwirkung niederer Temperatur.

a) Experimente mit Blättern. Wurzelblätter von Primula elatior werden im Winter in ein Glas gebracht, welches man verschließt und mit einer aus Schnee und Kochsalz hergestellten Kältemischung umgibt. Die Blätter verweilen bei -5^{0} bis -8^{0} C. Taut man die Blätter jetzt durch Eintauchen in Wasser von etwa 6^{0} C auf, so erweisen sie sich als turgeszent. Sie sind durch die niedere Temperatur nicht getötet worden. Aehnlich verhalten sich die Blätter von Bellis und von Stellaria media. Behandelt man Blätter von Crassulaceen, Raps, Bohnenpflanzen, Kohl in angegebener Weise, so erweisen sich die infolge des Gefrierens spröde wie Glas erscheinenden Untersuchungsobjekte nach dem Auftauen als nicht mehr lebendig. Sie haben ihren Turgor verloren und vertrocknen, an der Luft liegend, alsbald.

Fig. 36. Apparat zur Untersuchung der Einwirkung schädlicher Einflüsse auf Pflanzenteile.

Sehr lehrreich ist es, Blätter von Begonia manicata, deren Blattstiel in Wasser eintaucht, deren Spreite aber unter einer Glasglocke von Luft umgeben ist, im Freien oder in einem Zimmer einer Temperatur von -5^{0} C oder -10^{0} C auszusetzen (Fig. 36). Die Blätter werden schon infolge des Gefrierens mißfarbig, und dieser Farbenton verschwindet auch nicht wieder, wenn man die Untersuchungsobjekte auftaut. Die niederen Temperaturen bedingen eine Desorganisation des Protoplasmas, so daß der säurereiche Zellsaft auf die Chlorophyllkörper einwirken kann und das Chlorophyllpigment zer-

setzt. Wenn man Flächenschnitte erfrorener Blätter von Begonia manicata mikroskopisch untersucht, so ergibt sich in der Tat, daß die Chlorophyllkörper nicht, wie im normalen Zustande, grün, sondern gelblich gefärbt sind. Experimente mit den erwähnten Untersuchungsobjekten sind deshalb so lehrreich, weil die bei niederer Temperatur eintretende Farbenänderung der Blätter direkt erkennen läßt, daß schon das Gefrieren an sich den Tod der Zellen hervorruft.

b) Experimente mit Knollen und Wurzeln. Man bringt einige Kartoffelknollen in ein großes Gefäß mit Wasser und setzt dieses einer Temperatur von -8° C aus, so daß die Knollen langsam gefrieren. Das Auftauen des Eises und der Knollen kann sehr langsam herbeigeführt werden, indem man das Gefäß in einen Raum stellt, in welchem eine Temperatur von 1—2° C herrscht. Die gefrorenen Knollen sind steinhart, und die Untersuchungsobjekte erweisen sich selbst nach langsamem Auftauen als getötet. Ihre Zellen haben infolge der Desorganisation des Protoplasmas ihren Turgor verloren. Die Knollen sind weich und lassen bei leisem Druck große Flüssigkeitsmengen ausfließen.

Stücke gefrorener roter Rüben werden in Wasser von gewöhnlicher Temperatur gelegt. Infolge der Desorganisation des Plasmas tritt der rote Farbstoff in großer Menge in das Wasser über, während die Zellen nicht gefrorener Stücke roter Rüben, die man nach dem Abspülen in Wasser gelegt hat, keinen Farbstoff an dasselbe abgeben.

c) Stärkekleister. Wird Stärkekleister zum Gefrieren gebracht und dann aufgetaut, so hat man keine homogene Flüssigkeit mehr vor sich, sondern eine schwammige Masse, in deren Poren sich Flüssigkeit befindet. Es ist hier offenbar eine Umlagerung der Moleküle eingetreten, und das Ergebnis des erwähnten Versuchs ist im stande, uns manche Vorgänge, welche beim Erfrieren von Pflanzenzellen im Protoplasma derselben stattfinden, einigermaßen zu versinnlichen.

d) Experimente mit Samen. Lufttrockene Weizenkörner und andererseits solche Weizenkörner, die 7 Stunden lang angequollen sind, werden in verschlossenen Gläsern 15 Stunden lang -10° C ausgesetzt. Bringt man die Körner nunmehr unter normale Keimungsbedingungen, so erweisen sich die im lufttrockenen Zustande niederer Temperatur preisgegebenen Untersuchungsobjekte noch als keimfähig, während die angequollen gewesenen Körner nicht keimen uud zu Grunde gehen.

60. Eisbildung in gefrierenden Pflanzen.

a) Experimente mit Rüben. Ein einige Centimeter dicker, gut abgewaschener und dann abgetrockneter Schnitt einer roten Rübe wird in einer mit Glasplatte bedeckten Kristallisierschale einer Temperatur von etwa -8° bis -10° C ausgesetzt. Ist der Pflanzenteil vollkommen gefroren, so findet man besonders reichliche Eismengen an der Unterseite des Rübenschnittes, da, wo er den Boden der Schale berührt hat. Dieses Eis ist nicht rot gefärbt, woraus hervorgeht, daß nicht der Zellsaft, sondern reines Wasser aus den Zellen des Untersuchungsobjektes herausgefroren ist.

b) Temperaturgang. Sehr instruktiv ist es, den Gang der Temperatur in gefrierenden Pflanzenteilen festzustellen, wie dies zuerst von Müller-Thurgau geschehen ist. Ein Glasgefäß *G* (vergl. Fig. 37) von 20 cm Höhe und 60—70 mm Durchmesser wird mit einem doppelt durchbohrten Kork verschlossen. Die eine Bohrung dient zur Aufnahme des Thermometers *T*; Bestimmung der Temperatnr der Luft im Glase.

Durch die zweite Bohrung ist das Thermometer T' eingeführt, und es wird über den ca. 35 mm langen cylindrischen Quecksilberbehälter desselben (auch der Quecksilberbehälter des Thermometers T hat diese Beschaffenheit) ein aus einer Kartoffelknolle herausgeschnittener Cylinder von 45 mm Länge und 12 mm Durchmesser geschoben, so daß er unten und oben über den Quecksilberbehälter des Thermometers hervorragt. Das Kartoffelstück ist vorher mittelst eines Korkbohrers durchbohrt worden, und man hat die Bohrung gut mit Fließpapier gereinigt. Die Thermometer müssen eine derartige Beschaffenheit haben, daß der Skalenteil — 10° C noch über dem Kork des Gefäßes G sichtbar ist. Jetzt wird das Glas G in ein großes Gefäß gestellt und mit Schichten von Schnee und Kochsalz umgeben. Das „Lufthermometer" zeigt alsbald z. B. — 9° C. Das von dem Kartoffelstück umgebene Thermometer zeigt nach etwa $^3/_4$ Stunde eine Temperatur von — 3,5° bis — 4° C an (Unterkühlungsmaximum). Jetzt tritt Eisbildung ein, und infolge der dabei frei werdenden Wärme zeigt das Thermometer sehr schnell — 1° C an (Gefrierpunkt des Kartoffelstückes). Später sinkt dann das Quecksilber des Thermometers T' langsam. Bei den Beobachtungen sind von Anfang an beide Thermometer in Zwischenräumen von je einer Minute abzulesen. Die Beobachtungsresultate stellt man in einer Tabelle zusammen.

Fig. 37. Apparat zur Feststellung des Temperaturganges in gefrierenden Pflanzenteilen.

Um die Tatsache zu begreifen, daß gefrierende Pflanzenteile eine bedeutende Unterkühlung erfahren, ist auf das Verhalten gefrierender Salzlösungen und auf das Verhalten solcher Körper (z. B. Fließpapier) beim Gefrieren hinzuweisen, die mit Wasser durchtränkt sind, denn die Zellen enthalten kein reines Wasser, und ein Teil der Flüssigkeit ist in ihnen im imbibierten Zustande vorhanden. In 10-proz. Kochsalzlösungen bildet sich erst bei Temperaturen, die erheblich tiefer liegen als 0° C, Eis. Wenn man den Quecksilberbehälter des Thermometers T' unseres Apparates nicht mit einem Kartoffelstück umgibt, sondern mit einem Streifen feuchten Fließpapieres umwickelt, und die Abkühlung dann in angegebener Weise vornimmt, so sinkt das Quecksilber schnell auf — 3° bis — 4° C und steigt dann plötzlich bis etwas unter 0° C. Nachdem das Unterkühlungsmaximum erreicht ist, steigt die Temperatur nicht ganz auf 0° C, da eine gewisse Wärmemenge, die bei der Eisbildung entsteht, verbraucht wird, um die Wasserteilchen beim Gefrieren von den Molekülen gelöster Stoffe oder von den Teilchen der festen Körper, welche das Wasser im imbibierten Zustande festhalten, loszureißen.

61. Tötung der Pflanzen durch zu hohe Temperaturen.

a) Experimente mit Weizenkeimpflanzen. In kleinen Blumentöpfen werden Weizenkeimpflanzen bei Lichtzutritt so lange kultiviert, bis sie etwa 9 cm Höhe erreicht haben, und das zweite Laubblatt sich zu entwickeln beginnt. Wir drücken die Erde in den Töpfen nun fest, kehren die Töpfe um und stellen sie mit ihren Rändern auf

2 schmale Brettchen, welche über ein großes emailliertes Gefäß gelegt worden sind. Dies auf einem Dreifuß stehende Gefäß enthält Wasser, das vor Beginn der Beobachtungen auf bestimmte, konstant zu erhaltende Temperatur gebracht worden ist. Die Weizenkeimpflanzen tauchen so weit wie möglich beim Versuch a in Wasser von 42° C ein; Temperatur des Wassers beim Versuch b 48° C, beim Versuch c 52° C. Nach je 10 Minuten nehmen wir die Pflanzen aus dem Wasser heraus und lassen die Töpfe ruhig stehen. a: die Pflanzen bleiben völlig gesund. b: die eingetaucht gewesenen Pflanzenteile zeigen erst nach 2 Tagen deutliche Erscheinungen des Absterbens. c: schon nach einigen Stunden tritt Welken und Absterben der ausgewachsenen Blätter ein; am anderen Tage wird dies deutlicher, und nun gehen auch die jüngeren Blätter allmählich zu Grunde.

b) Experimente mit den Blättern von Begonia manicata. In das in einer Porzellanschale auf einem Wasserbade auf 40° C erwärmte, destillierte Wasser werden Blattstücke von Begonia manicata 15 Minuten lang eingetaucht. Die Temperatur des Wassers ist während dieser Zeit konstant zu erhalten. Nach Verlauf der angegebenen Zeit sind die Blattstücke noch vollkommen turgeszent und völlig gesund. Legt man Blattstücke der Begonia in Wasser von 55° C, so sind sie binnen 2 Minuten getötet; sie haben ihren Turgor verloren, sind schlaff geworden und sehen braun aus, da das abgestorbene Protoplasma permeabel für den sauren Zellsaft geworden ist, so daß dieser nun zersetzend auf den Chlorophyllfarbstoff einwirken konnte. Wasser von 75° tötet die Blattstücke fast momentan.

c) Experimente mit Oxalis. Blätter von Oxalis werden in der unter b angegebenen Art je 10 Minuten lang mit Wasser von 42°, 48°, 52° und 58° C behandelt. 42° C, Blätter intakt; 48° C, Blätter schlaff, aber nicht braun; 52° C, Blätter schlaff und braune Flecke zeigend; 58° C, Blätter schlaff und völlig braun.

d) Experimente mit Begoniablattstielen. Ein Stück eines Blattstieles von Begonia manicata wird nach dem Abspülen in destilliertes Wasser gelegt. Ein zweites Stück desselben Blattstieles tötet man durch Einlegen in Wasser von 60° C und überträgt es schnell in destilliertes Wasser. Nach etwa $^1/_4$ Stunde nimmt man die Pflanzenteile aus den Flüssigkeiten heraus und versetzt dieselben mit etwas Chlorcalciumlösung. Die eine Flüssigkeit bleibt klar, die andere, in der das getötete Blattstück lag, trübt sich infolge der Abscheidung von oxalsaurem Kalk. Das zerstörte Protoplasma ist permeabel für die Oxalsäure des Zellsaftes geworden und hat dieselbe nach außen in das umgebende Wasser austreten lassen.

e) Experimente mit Rüben. Frische und durch den Einfluß heißen Wassers getötete Stücke roter Rüben legt man nach sorgfältigem Abspülen in destilliertes Wasser. Jene geben an die Flüssigkeit keinen, diese dagegen reichliche Mengen ihres Farbstoffes ab.

Eine Scheibe (35 mm Durchmesser und 15 mm Höhe) aus einer roten Rübe zerschneidet man in kleine Stücke und kocht diese mit 100 ccm Wasser. In den Saft legt man frische und ferner durch Kochen in Wasser getötete Runkelrübenstücke. Nimmt man diese Stücke nach einer Stunde oder selbst nach 24 Stunden aus der Flüssigkeit heraus und spült sie sorgfältig ab, so zeigt sich, daß die frischen Rübenstücke kaum gefärbt erscheinen, während die getöteten Stücke sehr viel roten Farbstoff aufgespeichert haben.

f) Experimente mit Samen. Auf einem Dreifuß steht ein doppeltwandiges Zinkblechgefäß von etwa 20 cm Höhe und ca. 16 cm Durchmesser (vergl. Fig. 38). Der äußere und innere Raum des Zinkgefäßes (letzterer hat ca. 9 cm Durchmesser) werden mit Wasser angefüllt. Zum Verschluß des inneren Raumes dient eine mit mehreren Bohrungen versehene Holzplatte. In diesen sind die Thermometer *T* und die Probiergläser *P* und *P'* befestigt. Jedes der Probiergläser ist mit einem Thermometer versehen; *P'* überdies noch mit dem rechtwinklig gebogenen Glasrohr *G*. *P* wird bis zur Hälfte mit lufttrockenen, *P'* mit gequollenen Weizenkörnern angefüllt. Man erhitzt das Wasser in dem Apparat auf 60° C und setzt die Untersuchungsobjekte in der erst jetzt völlig zusammengestellten Vorrichtung eine Stunde lang dieser Temperatur aus. Dann werden die Körner aus *P* und *P'* in feuchte Sägespäne übertragen. Die trocken erhitzten Körner keimen ganz gut. Die feucht erhitzten erweisen sich als getötet.

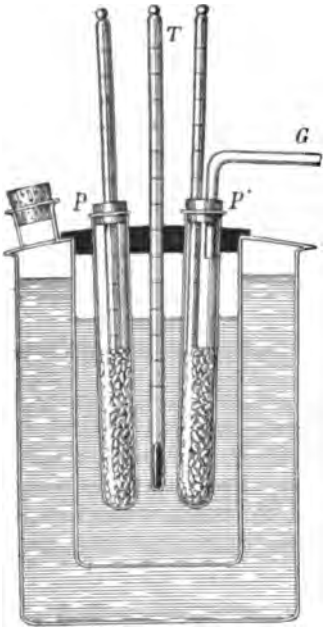


Fig. 38. Apparat zur Untersuchung der Einwirkung höherer Temperatur auf Samen.

62. Einwirkung von Giften auf die Pflanzen.

a) Chloroformwirkung. Einige gequollene Erbsensamen werden in einer flachen Glasschale mit wenig Wasser in Berührung gebracht. Man stellt noch ein mit Chloroform angefülltes Glas neben die Schale und bedeckt das Ganze mit einer Glasglocke. Bei nicht zu niedriger Temperatur (18° C) keimt kein Same, während die Keimung in Parallelversuchen ohne Chloroform normal erfolgt.

In eine flache Schale wird Chloroform gegossen und diese sowie ein Blatt von Begonia manicata, das mit einem Stiel in Wasser eintaucht, unter eine Glasglocke gestellt (vergl. Fig. 36). Die Blattzellen sterben bald unter Bräunung des Blattes ab.

b) Salicylsäure. 1) 100 ccm Wasser werden mit 1 g Rohrzucker und etwas Pepton versetzt. 2) Gleiche Lösung. Beide Flüssigkeiten filtrieren. Dann erhält 2 noch einen Zusatz von 0,2 g Salicylsäure. 1 und 2 bleiben in offenen Kochflaschen sich selbst überlassen. Nach 8 Tagen ist die Flüssigkeit von 1 durch die Entwickelung vieler niederer Organismen milchig trübe geworden, 2 erscheint dagegen klar, da die Salicylsäure die Keime tötet.

100 ccm Wasser werden mit 1 g Salicylsäure versetzt. Nach einiger Zeit filtriert man, da sich nicht alle Säure aufgelöst hat. In der Lösung lassen wir 15 Weizenkörner 24 Stunden lang quellen, spülen die Körner gut ab und legen sie auf feuchtes Fließpapier, welches sich in einer mit einer Glasplatte bedeckten Schale befindet. Kein Weizenkorn keimt, während in Wasser angequollene Körner unter den bezeichneten Bedingungen normal keimen.

c) Kupfervitriol. a 100 ccm Wasser, b 100 ccm Wasser + 0,2 g Kupfervitriol, c 100 ccm Wasser + 0,4 g Kupfervitriol, d 100 ccm Wasser + 1 g Kupfervitriol, e 100 ccm Wasser + 10 g Kupfervitriol, f 100 ccm konzentrierte Kupfervitriollösung. In sämtlichen Lösungen lassen wir 15 Weizenkörner 24 Stunden lang quellen und legen sie dann nach dem Abspülen auf feuchtes Fließpapier, welches sich in Glasschalen befindet, die mit Glasplatten bedeckt sind. Es keimen selbst einige Körner von f, woraus sich ergibt, daß das Kupfervitriol relativ unschädlich ist. Läßt man Weizenkörner in konzentrierter Kupfervitriollösung quellen und legt sie dann, ohne sie abzuspülen, auf Fließpapier, welches mit der Kupferlösung durchtränkt ist, dann keimt allerdings kein Korn. Viele andere Pflanzenteile sind übrigens außerordentlich empfindlich gegen die Wirkung des Kupfervitriols. Werden Blattstücke von Begonia manicata in Wasser und andererseits in verdünnte (schwach blau gefärbte) Kupfervitriollösung gelegt, so sind die ersteren nach wenigen Stunden noch grün und turgeszent, die letzteren aber braun und schlaff geworden.

d) Leuchtgas. Ein Blattstück von Begonia manicata wird in ein Glas gebracht, dessen Mündung mit einem doppelt durchbohrten Kork verschlossen ist. In die Bohrungen führen wir 2 rechtwinklig gebogene Glasröhren ein, leiten einige Zeit lang Leuchtgas durch den Apparat und verschließen denselben alsdann luftdicht. Das Blattstück nimmt alsbald eine braune Färbung an, wodurch die giftige Wirkung des Leuchtgases demonstriert ist. Leuchtgas besteht hauptsächlich aus Methan (CH_4), Aethylen (C_2H_4), und wenig Acethylen (C_2H_2), Wasserstoff sowie Kohlenoxyd.

III. Elementare Molekularvorgänge.

1) Imbibition und Quellung. Eine der charakteristischsten Eigenschaften der durch die Lebenstätigkeit erzeugten organisierten Gebilde der Zellen ist in ihrer Imbibitionsfähigkeit und darin gegeben, daß sie begrenzter Quellung fähig sind. Das Wasser dringt zwischen die Micellen ein, wird von diesen angezogen und treibt sie, soweit es die zwischen den Micellen bestehenden Kohäsionskräfte gestatten, auseinander. Die begrenzte Quellung, nicht mit der unbegrenzten Quellung von Schleimen etc. zu verwechseln, ist also Folge der Imbibition. Bei dem Zustandekommen der Imbibition wird, da Wasserverdichtung stattfindet, Wärme frei. Auch ist die Quellung mit der Leistung innerer sowie äußerer Arbeit verbunden.

2) Diffusion und Endosmose. Nackte Plasmamassen (Plasmodien etc.) sind im stande, feste Körperchen von außen in ihre Substanzen aufzunehmen. Auch Fette vermögen im emulgierten Zustande in der Pflanze von Zelle zu Zelle zu wandern und in das Protoplasma einzutreten. Vor allen Dingen spielen aber Diffusion und Endosmose eine Rolle bei der Stoffaufnahme und Stoffabgabe der Zellen der Gewächse. Durch Diffusion können Konzentrationsdifferenzen im Zellsaft gewöhnlicher Zellen, im Inhalt der Siebröhren und der Milchsaftbehälter sowie im Plasma (oft gefördert durch Plasmabewegungen oder anderweitige Massenbewegungen) ausgeglichen werden.

Bei den osmotischen Vorgängen bietet die Zellhaut im allgemeinen

ein ähnliches Verhalten dar wie Schweinsblase oder Pergamentpapier. Die Hautschicht des Protoplasmas und die Vakuolenwände reagieren vielfach ähnlich wie semipermeable Niederschlagsmembranen, die man künstlich hergestellt hat. Jedoch betont namentlich PFEFFER mit Recht nachdrücklich, daß die erwähnten Plasmaschichten ihre diosmotischen Eigenschaften regulatorisch und den momentanen Bedürfnissen der Zellen entsprechend zu verändern vermögen. Sie können auf solche Art z. B. vorübergehend permeabel für gewisse Stoffe (etwa Zucker) werden, welche sie gewöhnlich nicht diosmieren lassen. Manche gelöste Körper lassen die Plasmaschichten übrigens wohl immer passieren. (PFEFFER, Abhandl. d. Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wiss., Bd. 16.)

3) Turgor. In turgeszierenden Zellen besteht ein Spannungszustand zwischen dem Zellsaft einerseits und dem Protoplasma sowie der Zellhaut andererseits. Durch Wasseraufnahme wird das Volumen des Zellsaftes vergrößert, und Plasma sowie Zellhaut müssen gedehnt werden. Die Größe der auf solche Art resultierenden Turgorausdehnung der Zelle erweist sich als abhängig von der osmotischen Leistungsfähigkeit des Zellsaftes (der Turgorkraft) und den Eigenschaften (zumal der Dehnbarkeit und Elastizität) des Plasmas und der Zellhaut. Die osmotische Leistungsfähigkeit des Zellsaftes wird bestimmt durch Qualität und Quantität der gelösten Stoffe. Tatsächlich ist nun der Gehalt der Zellsäfte an Zucker, organischen Säuren, Mineralstoffen etc. ein sehr verschiedener, und für die Beurteilung der Turgorverhältnisse der Zellen kommt noch besonders in Betracht, daß auch die isotonischen Koëffizienten genannter Stoffe, d. h. die Werte für den osmotischen Effekt eines Grammmoleküls derselben, nicht die gleichen sind. Diese Verschiedenartigkeit hat ihren Grund darin, daß manche Körper in verdünnter wässeriger Lösung teilweise in Jonen zerfallen. Setzt man den isotonischen Koëffizienten eines Moleküls des Kalisalpeters = 3, so ist derjenige eines Moleküls Chlornatriums ebenfalls = 3, des Rohr- und Traubenzuckers = 2, der Oxalsäure = 2, des oxalsauren Kaliums ($K_2C_2O_4$) = 4.

In turgeszierenden Pflanzenteilen können erhebliche Druckwirkungen, die unter Umständen mehr als 6 Atmosphären betragen, zur Geltung kommen. Solche Leistungen sind hauptsächlich dadurch ermöglicht, daß Hautschicht und Vakuolenwände des Plasmas sich wie semipermeable Membranen verhalten, so daß die wirksamen Stoffe des Zellsaftes demselben erhalten bleiben. Die Zellhaut funktioniert als Widerlage für das Protoplasma.

Verlieren die Zellen durch Welken oder dadurch, daß sie in konzentriertere Flüssigkeiten gelangen, Wasser, dann wird ihr Turgor aufgehoben; sie gehen in den plasmolytischen Zustand über. (PFEFFER, Osmotische Untersuchungen, 1877; DE VRIES, Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 16. Ferner vergl. HÖBER, Physik. Chemie der Zelle, 1902.)

4) Temperaturzustand der Pflanzenteile. Der jeweilige Temperaturzustand eines Pflanzenteiles wird durch eine große Anzahl verschiedener Umstände bestimmt: Temperatur der Luft, Insolation, Temperatur des Bodens und des von den Wurzeln aufgenommenen Wassers, Eigenwärme der Pflanzen, Transpirationsgröße derselben, Oberflächenbeschaffenheit (z. B. Behaarung) der Organe, Wassergehalt derselben, Wärmeabsorptions- und -emissionsvermögen der Pflanzenteile, spezifische Wärme und Wärmeleitungsvermögen derselben etc. Kleine Pflanzen haben im allgemeinen nahezu die Temperatur der Umgebung, wenn sie nicht mit besonderer Energie selbst Wärme produzieren. In-

olge stärkerer Transpiration sind die Laubblätter meist etwas kälter ls die Luft. Im Innern massiger Pflanzenteile mit relativ geringer berfläche (Kakteen) kann unter dem Einfluß direkten Sonnenlichtes eine edeutende Temperatursteigerung eintreten. Das Innere der Baumstämme st infolge langsamer Wärmeleitung am Tage meist kälter, nachts wärmer ls die Luft.

5) Elektromotorische Wirkungen. Unter Benutzung empfindlicher Galvanometer läßt sich konstatieren, daß Pflanzen (unversehrte Keimlinge und Blätter etc.) elektromotorische Wirkungen zur Geltung ringen. Die Blattnerven verhalten sich z. B. meist positiv elektrisch gegen das Mesophyll. Ursache solcher elektromotorischer Wirkungen ind Wasserströmungen in der Pflanze, vor allen Dingen aber, wie Haake (Flora, 1892) zeigte, Stoffwechsel- und Atmungsprozesse.

63. Imbibition und Quellung.

a) Laminaria. Aus einem in der Apotheke käuflichen Laminariatift stellen wir einen zarten Querschnitt her, den wir unter Deckglas hne Wasserzusatz mikroskopisch betrachten. Die Strukturverhältnisse es Schnittes sind sehr undeutlich. Jetzt lassen wir vom Deckglasrande us Wasser zu dem Schnitt treten. Im Moment der Wasseraufnahme ergrößert sich der Schnitt bedeutend. Es tritt Quellung des Schnittes nfolge von Imbibitionsvorgängen ein, und der zellige Bau des Unteruchungsobjektes ist nunmehr leicht zu konstatieren.

Man bestimmt das Gewicht sowie die Dimensionen (Länge und Durchmesser) eines Laminariastiftes und legt das Untersuchungsobjekt in Wasser. Nach 24 Stunden wird der Stift aus dem Wasser entfernt, abgetrocknet und abermals gewogen und gemessen. Die eingetretene bedeutende Gewichts- und Volumenzunahme ist leicht zu konstatieren. Gewichtszunahme z. B. von 1,1 auf 3,5 g. Längenzunahme 16 Proz., Zunahme des Durchmessers 100 Proz.

b) Samen. Um Untersuchungen über die Volumenzunahme anzustellen, welche Samen bei der Quellung erfahren, bringt man die Untersuchungsobjekte zunächst im trockenen Zustande in einen schmalen Glascylinder, dessen Volumen bis zu einer am oberen Teil befindlichen Marke bekannt ist. Man läßt nun verdünnten Alkohol aus einer Bürette bis zur Marke in den Cylinder einfließen und kann unter Berücksichtigung der Menge der erforderlichen Flüssigkeit dann leicht das Volumen der Pflanzenteile berechnen. Bei der Volumenbestimmung der gequollenen Samen benutzt man nicht verdünnten Alkohol, sondern Wasser.

Höhere Temperatur beschleunigt den Verlauf der Quellung, wie leicht festzustellen ist, wenn man einige geschälte Erbsensamen 7 Stunden lang bei 14° C, andere Samen 7 Stunden lang bei 22° C quellen läßt. Beide Samenproben müssen nahezu dasselbe Anfangsgewicht haben. Nach erfolgter Quellung werden die Samen abgetrocknet und gewogen.

c) Holz. Walzenförmige Holzstücke von etwa 100 mm Länge und 80 mm Durchmesser werden mit Hülfe des Millimetermaßstabes im trockenen Zustande genau gemessen und in Wasser gelegt. Nach der Quellung ergeben abermalige Messungen, daß sich die Holzstücke in der Richtung des Radius und des Umfanges weit stärker ausgedehnt haben, als in der Richtung der Achse.

d) Stärkekörner. Kartoffelstärke wird auf dem Objektträger nach Zusatz von Wasser vorsichtig über einer Spirituslampe erwärmt. Es tritt eine bedeutende Volumenzunahme der Körner ein, und bei etwa

70° C sind sie zu einer glasigen Masse verquollen, deren Begrenzung schwer zu erkennen ist.

Solche unbegrenzte Quellung, welche nicht mit der begrenzten Quellung zu verwechseln ist, kann auch erzielt werden, wenn man zu Kartoffelstärke, die im Wassertropfen liegt, vom Deckglasrande aus Kalilauge treten läßt. Um die eintretenden Erscheinungen recht genau beobachten zu können, sorge man für sehr allmähliche Einwirkung der Kalilauge auf die Stärkekörner.

e) Wärmeentwickelung bei der Quellung. 100 g lufttrockener Kartoffelstärke gelangen in ein Glas. Zu der Stärke läßt man aus einer Bürette wenig Wasser fließen, welches genau dieselbe Temperatur wie die Stärke besitzt. Man setzt dieser letzteren z. B. 5 ccm Wasser zu, rührt mit einem starken Glasstab um (um ein Erwärmen des Gefäßes beim Anfassen desselben mit der Hand zu vermeiden, wird das Glas mit Flanell umwickelt) und bestimmt die Temperatur der Mischung. Temperaturerhöhung z. B. 1,5° C. Experimentiert man mit Stärke, die einige Zeit lang bei 90° C getrocknet und dann im Exsikkator wieder abgekühlt worden ist, so ruft ein Wasserzusatz von wenigen Kubikcentimetern eine Temperatursteigerung von 6—7° C hervor (Sachsse).

f) Aeußere Arbeit bei der Quellung. Wir benutzen den in Fig. 39 dargestellten Apparat. Auf der einen Seite des Holzgestelles ist mittelst einer Schraube ein mit Holzfuß versehener Glascylinder g, der eine Höhe von 10 cm und einen Durchmesser von 35 mm besitzt, befestigt, welcher zur Aufnahme der quellenden Samen und des zur Quellung nötigen Wassers dient. Für wasserdichten Verschluß am unteren Ende ist durch Verkittung des Bodens mit Siegellack gesorgt. In dem Glascylinder bewegt sich ein aus Metall gearbeiteter Stempel, dessen 16 cm lange Achse a vertikal gerichtet ist und an ihrem unteren Ende eine kreisrunde Scheibe s trägt, welche sich in der Röhre hin- und herschieben läßt und der Samenschicht unmittelbar aufliegt. An ihrem oberen Ende trägt die Achse eine Messingscheibe s^1, die zum Tragen der zur Druckleistung dienenden Gewichte bestimmt ist. Zum Verschluß des Cylinders dient die Metallkapsel k, durch deren Mitte die vertikale Achse a geführt ist, so daß sich die Kapsel frei um dieselbe drehen läßt. Zwischen der Kapsel k und Scheibe s^1 ist an dem vertikalen Stab der horizontale Zeigerhebel z befestigt, welcher mittelst einer Schraube in verschiedener Höhe an der Achse eingestellt werden kann und bei u seinen Unterstützungspunkt hat. Der kurze Arm dieses Zeigerhebels hat eine Länge von 2 cm, der lange Arm eine solche von ca. 33 cm. Der Zeiger reicht bis zu dem rechts auf

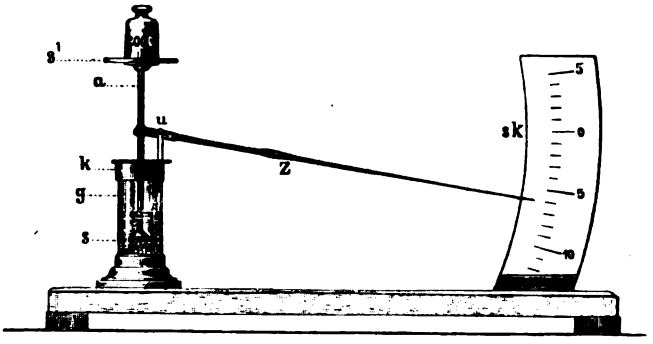


Fig. 39. Apparat zur Messung der äußeren Arbeit, welche quellende Samen leisten können.

dem Gestell angebrachten Kreisabschnitt *sk*, welchem eine Centimeterskala aufgetragen ist. Jede Aufwärtsbewegung des Stempels infolge des Druckes quellender Samen bewirkt eine Abwärtsbewegung des Hebels an der Skala und ermöglicht in entsprechend vergrößertem Maßstab die Feststellung der Bewegung des Stempels infolge der Quellung. Beschickt man den beschriebenen Apparat z. B. mit 10 g kleiner Erbsen und Wasser, und belastet man die Messingscheibe s^1 mit 1000 g, so ist der Stempel nach Verlauf von 5 Stunden, wie das Sinken des Zeigers andeutet, nicht unerheblich durch die quellenden Samen gehoben worden. Wird der Apparat gar nicht oder nur mit 200 g belastet, so wird der Stempel im Laufe von 5 Stunden erheblicher emporgehoben, als bei größerer Belastung.

64. Diffusion und Endosmose.

a) Diffusion. Im Zellsaft und im Protoplasma verbreiten sich gelöste Stoffe durch Diffusion. Es ist lehrreich, sich davon zu überzeugen,

Fig. 40. Fig. 41.

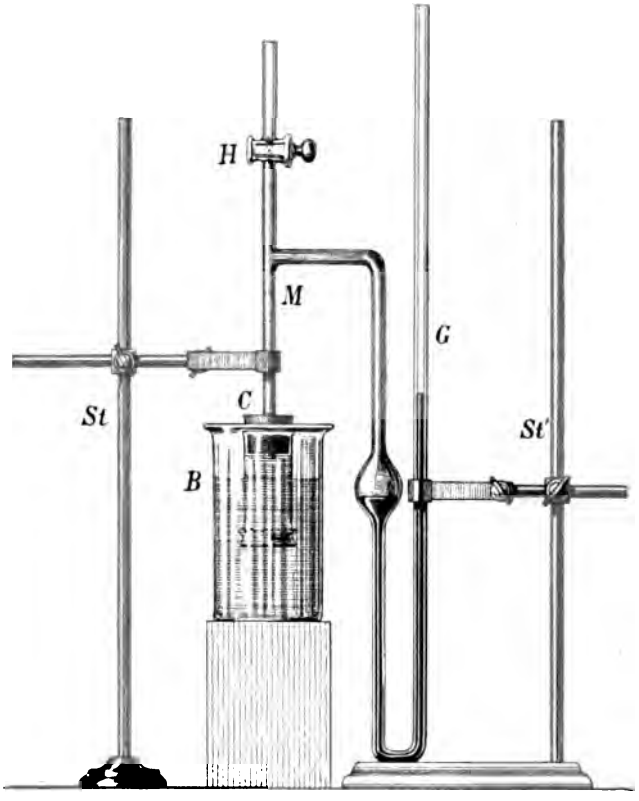


Fig. 40. Endosmometer.

Fig. 41. Apparat zum Nachweis osmotischer Druckwirkungen.

daß dieser Prozeß häufig mit viel geringerer Geschwindigkeit vor sich geht, als man gewöhnlich anzunehmen pflegt. Alle Vorgänge (z. B. Protoplasmabewegungen), welche die Verteilung gelöster Stoffe in der Zelle beschleunigen, sind daher von Wichtigkeit.

Man stellt einen hohen, mit Wasser angefüllten Glascylinder auf einem zitterfreien Tisch auf, wirft ein Stück doppeltchromsauren Kalis in

das Wasser und bedeckt die Mündung des Cylinders mit einer Glasplatte. Das doppeltchromsaure Kali löst sich auf, aber selbst nach mehreren Tagen sind die oberen Flüssigkeitsschichten nur schwach gelb gefärbt. In unserem Experiment sind Flüssigkeitsströmungen keineswegs völlig ausgeschlossen; um so deutlicher tritt die Tatsache hervor, daß die Verbreitung gelöster Stoffe durch Diffusion häufig nur langsam erfolgt.

b) Endosmometer. Ein etwa 8 cm langes und 3—4 cm weites Glasrohr wird an seinem unteren, abgeschliffenen Ende mit einem Stück Schweinsblase verschlossen. Ein durchaus dichter Verschluß kann erzielt werden, wenn man die 12 Stunden lang in Wasser eingeweichte Membran im feuchten Zustande über das Ende des Glasrohres bringt und sie mittelst eines angefeuchteten Bindfadens festbindet. Das Glasrohr wird nun mit Rohrzuckerlösung (100 g Zucker auf 200 ccm H_2O) völlig angefüllt und sein oberes Ende mit Hülfe eines durchbohrten Kautschukkorkes verschlossen, in dessen Bohrungen ein langes Glasrohr (Steigrohr von 4 mm Weite im Lichten) und ein Thermometer eingeschoben worden sind (vergl. Fig. 40). Markiert man den Stand der Rohrzuckerlösung in dem Steigrohr und taucht man den unteren Teil des Apparates in destilliertes Wasser ein, so findet man, daß die Flüssigkeit im Steigrohr alsbald im Steigen begriffen ist. Die Temperatur muß konstant bleiben.

c) Temperatureinfluß. Endosmometer mit 50-proz. Rohrzuckerlösung beschicken. Der ganze Apparat Fig. 40 steht in einer großen Schale, die Wasser enthält, um die Temperaturverhältnisse besser regulieren zu können. Bei Beginn des Versuches z. B. Temperatur aller Flüssigkeiten 19° C. Steighöhe im Rohr des Endosmometers z. B. 60 mm pro Stunde. Nun alle Flüssigkeiten auf 40° C bringen. Steighöhe pro Stunde 79 mm.

d) Konzentrationsverhältnisse. Endosmometer mit 50-proz. Zuckerlösung beschicken. Außenflüssigkeit zunächst Wasser, nach einer Stunde 10-proz. Kochsalzlösung, die schon früher bereitet worden ist, damit sie die geeignete Temperatur angenommen hat, und endlich wieder Wasser. Temperatur aller Flüssigkeiten sehr konstant, z. B. 18° C. Steighöhe pro Stunde bei stets 18° C 28, 13 und 31 mm.

e) Osmotische Druckleistung. Ein 8 cm langer, 3—4 cm weiter Glascylinder (vergl. Fig. 41 *C*) wird an seinem unteren Ende mit Schweinsblase verschlossen. Das Gefäß *B* enthält Wasser. Durch den Kautschukkork mit welchem *C* verschlossen ist, wird der eine Arm des Manometers *M* eingeführt, welches mit dem Hahn *H* versehen ist. Die Stative *St* und *St'* dienen zum Festhalten des Manometers. Dies letztere hat einen lichten Durchmesser von 0,7 mm. Der Schenkel *G* besitzt eine Länge von ungefähr 60 cm. *C* enthält fast konzentrierte Rohrzuckerlösung. In das Manometer *M* bringt man Quecksilber und füllt dann bis zum Hahn *H* Rohrzuckerlösung ein. Jetzt wird der Hahn geschlossen. Alsbald beginnt das Quecksilber in *G* emporzusteigen, da bedeutende Wassermengen durch die Schweinsblase in den Apparat eindringen. Der Druck im Apparat kann z. B. so groß werden, daß das Quecksilber im Schenkel *G* über 40 cm höher steht als im anderen Schenkel des Manometers.

65. Diosmotische Eigenschaften der Zellhaut und des Protoplasmas.

a) Versuche mit Tradescantia. Staubfadenhaare von Tradescantia werden im Wassertropfen mikroskopisch beobachtet (vergl. Fig. 28). Vom Deckglasrande aus lassen wir mehr oder minder verdünnte Zucker-

sung zu dem Objekt treten. Diese Flüssigkeit entzieht dem Zellsaft 'asser, und daher kontrahiert sich das Protoplasma, so daß Zwischen- ume zwischen der Zellhaut und der Oberfläche des Plasmakörpers ent- ehen. Wir haben die Zellen aus dem turgeszierenden in den plas- olytischen Zustand übergeführt. Durch unser Experiment ist aber rner die wichtige Tatsache konstatiert, daß Hautschicht und Vakuolen- hicht des lebenden Protoplasma impermeabel für den im Zellsaft der radescantia-Haarzellen aufgelösten Farbstoff sein müssen, da dieser nach folgter Plasmolyse (dieselbe tötet die Zellen keineswegs) nicht aus dem ellsaft ausgetreten ist.

Zu Tradescantiahaaren lassen wir vom Deckglasrande aus absoluten lkohol treten. Die Plasmaschichten der nunmehr getöteten Zellen sind ermeabel für den Farbstoff geworden. Das Plasma sowie zumal der ellkern färben sich intensiv, und es kann sogar gefärbte Flüssigkeit is den Zellen in deren Umgebung übergehen.

Epidermisstückchen von Tradescantiablättern werden durch Kochsalz- ler Zuckerlösung in den plasmolytischen Zustand versetzt und in den urch Zerquetschen dunkel gefärbter Kirschen gewonnenen Saft gelegt. er Farbstoff kann die Zellhaut passieren; er dringt in den Zwischen- um zwischen dieser und dem Plasma ein, aber das Plasma selbst mmt ihn nicht auf. Werden Epidermiszellen von Tradescantia nach er Plasmolyse durch Eintauchen in heißes Wasser getötet und nun in irschsaft gelegt, so färben sich Plasma und Zellkern ziemlich intensiv. etötetes Plasma ist für viele Stoffe leicht permeabel, die lebenstätiges rotoplasma nicht aufzunehmen im stande ist.

b) Versuche mit Rüben. Frische Rübenstücke und andererseits solche, welche durch Einwirkung heißen Wassers getötet worden nd, werden nach sorgfältigem Abspülen in destilliertes Wasser gelegt. ntnimmt man den Flüssigkeiten nach einigen Stunden kleine Proben, ersetzt diese mit wenigen Tropfen verdünnter Salzsäure und kocht sie urze Zeit lang, so läßt sich in derjenigen Flüssigkeit, die sich mit den etöteten Rübenstücken in Berührung befunden hatte, das Vorhandensein on Zucker leicht mit Hülfe von Fehlingscher Lösung feststellen, während lie andere Flüssigkeit keinen Zucker enthält.

c) Diosmose gelöster Stoffe durch Pergamentpapier. Die Zellhaut verhält sich gelösten Stoffen gegenüber bei der Dialyse derselben ganz ähnlich wie Pergamentpapier. Daher ist es von Interesse, das Verhalten dieses letzteren näher zu beobachten. Ein dickwandiges Glasrohr von 80 mm Länge und 40 mm Weite trägt an seinem unteren Ende einen Messingring, der außen mit einer Schraubenwindung versehen ist. Der unteren Fläche des Ringes liegt die eine Seite der Membran aus vegetabilischem Pergament dicht an, während die andere Seite derselben sich in Berührung mit der nach oben gewandten Fläche eines zweiten, aber ziemlich dünnen Messingringes befindet. Auf den gesamten unteren Teil des Dialysators kann endlich eine mit einer kreisrunden Oeffnung von 40 mm Durchmesser versehene Messingkappe aufgeschraubt werden. Die freiliegenden Messingteile des Dialysators sind mit einem geeigneten Lack überzogen. Der Dialysator wird mittelst eines Korkes in einem Glase befestigt (vergl. Fig. 42). Man gießt destilliertes Wasser in dieses Glas, in den Dialysator

Fig. 42. Dialysator.

aber die Lösung des auf sein diosmotisches Verhalten zu prüfenden Stoffes. Bei Experimenten mit Extrakten aus roten Rüben, mit Zucker- und Kochsalzlösungen, läßt sich leicht konstatieren, daß der Farbstoff, der Zucker sowie Chlornatrium die benutzte Membran zu passieren vermögen.

d) Verhalten von Niederschlagsmembranen. Wir bereiten uns 1-proz. Lösungen von Calciumnitrat und Dinatriumphosphat. Diese letztere gelangt in unseren mit Pergamentpapier verschlossenen Dialysator, während jene erstere als Außenflüssigkeit dient. Es entsteht im vegetabilischen Pergament eine Niederschlagsmembran von Calciumphosphat, und wenn wir der Dinatriumphosphatlösung im Dialysator nach Verlauf einiger Stunden wenige Tropfen einer wäßrigen Methylenblaulösung hinzufügen, so ergibt sich, daß der Farbstoff nicht in die Außenflüssigkeit übergeht. Pergamentpapier, in welchem keine Niederschlagsmembran eingelagert ist, läßt, wovon man sich leicht überzeugen kann, Methylenblau passieren. Die angeführten Experimente haben, was besonders zu betonen ist, nur den Zweck, den Nachweis zu führen, daß bestimmte Stoffe, die eine Membran passieren können, eine andere Membran häufig nicht zu diosmieren vermögen. Ob aber ein Körper, der die künstliche Membran nicht passiert, zugleich nicht im stande ist, in das Protoplasma einzudringen, muß immer erst durch besondere Beobachtungen ermittelt werden. Methylenblau vermag das Protoplasma z. B. tatsächlich aufzunehmen.

e) Verhalten des Methylenblaues zu Pflanzen. Sprosse von Elodea belassen wir 24 Stunden lang in 1 l einer 0,0008-proz. wäßrigen Methylenblaulösung. Die mikroskopische Untersuchung ergibt, daß der Zellsaft der Blätter tiefblau gefärbt ist. Die Zellen sind nicht getötet, denn es kann Protoplasmabewegung in ihnen vorhanden sein.

66. Turgor und Plasmolyse.

a) Orientierungsversuch. Eine Glasröhre von 80 mm Länge und 40 mm Weite wird an einem Ende mit Schweinsblase verschlossen, mit fast konzentrierter Rohrzuckerlösung völlig angefüllt, und auch über das obere Röhrenende ein Stück Schweinsblase gebunden. Diese sogenannte künstliche Zelle taucht man nun in destilliertes Wasser unter. Die Zuckerlösung zieht auf osmotischem Wege Wasser an, so daß der Zellinhalt, dessen Volumen mehr und mehr wächst, einen immer stärker werdenden Druck auf die Membranstücke geltend macht. Diese wölben sich konvex nach außen vor, üben aber infolge ihrer Elastizität ihrerseits auch einen Druck auf den Zellinhalt aus, so daß also in unserem Apparat eine beträchtliche Spannung (Turgorspannung) zwischen der Zuckerlösung und den Membranstücken zu stande kommen muß. Wenn die künstliche Zelle energisch turgesziert, wird sie aus dem Wasser herausgenommen. Man durchsticht die eine ihrer Membranen mit einer feinen Nadel und wird beobachten, daß sofort ein Flüssigkeitsstrahl aus der erzeugten Oeffnung hervorspritzt, während die Membranen erschlaffen. In der turgeszierenden Zelle muß also ein erheblicher Druck bestanden haben.

b) Traubes künstliche Zelle. Ein Glas wird mit 5-proz. Ferrocyankaliumlösung angefüllt und ein Kristall von Kupferchlorid in die Flüssigkeit geworfen. Das Kupferchlorid umgibt sich sofort mit einer Niederschlagsmembran von Ferrocyankupfer, und indem es Wasser von außen anzieht, wird diese letztere gedehnt. Es entsteht auf diese Weise

eine turgeszierende künstliche Zelle (Traubesche Zelle), die schnell an Größe zunimmt und allmählich mehrere Centimeter Länge erreichen kann. Indem nämlich die braune Ferrocyankupfermembran gedehnt wird, treten von innen gelöste Kupferchloridmoleküle, von außen Ferrocyankaliummoleküle in dieselbe ein. Diese Membranogene geraten in der Membran miteinander in chemische Wechselwirkung; es resultieren Ferrocyankupfermoleküle, welche das durch Dehnung eingeleitete Wachstum der Membran tatsächlich herbeiführen.

c) Mikroskopisches. Ein sehr kleines Splitterchen von Kupferchlorid wird auf den trockenen Objektträger gelegt und mit Deckglas bedeckt. Lassen wir nun vom Deckglasrande aus Ferrocyankaliumlösung auf das Kupfersalz einwirken, so können wir die Entstehung der Traubeschen Zelle mikroskopisch beobachten.

d) Mikroskopische Beobachtung der Plasmolyse. Die Beobachtung stellt man in der unter 65a angegebenen Art an. Schöne Plasmolyse erzielt man auch in den Zellen der Haare von Cucurbita, indem man Epidermisstreifen der Blattstiele dieser Pflanze etwa einen Tag lang in Zuckerlösung liegen läßt. Im Winter verwende man zum Experiment Epidermisstücke von der Mittelrippe der rot gefärbten Unterseite des Blattes von Tradescantia discolor.

e) Plasmolyse von Blattstielen und Wurzeln. Wir experimentieren mit jungen Blattstielen von Tropaeolum oder mit Keimpflanzen von Pisum, die, in Sägespänen kultiviert, etwa 30 mm lange Wurzeln haben. Auf die Blattstiele tragen wir in Entfernung von 50—100 mm Tuschestriche auf. Die Wurzeln werden an ihrem oberen Ende nach dem Abtrocknen mit einer Tuschemarke versehen. Man legt die Objekte nun in 10-proz. Kochsalz- oder Kalisalpeterlösung, nachdem die Entfernung der Marken, resp. die Entfernung der Marken von den Wurzelspitzen genau bestimmt worden ist. Nach 1—2 Stunden kann eine erhebliche Verkürzung der Blattstiele und Wurzeln konstatiert werden. Sie haben ihren Turgor verloren und sind schlaff geworden. Legt man die Untersuchungsobjekte jetzt in Wasser, so gehen sie aus dem plasmolytischen wieder in den turgeszenten Zustand über. Erneute Messungen lehren, daß die markierten Zonen sich dabei wieder verlängern.

67. Isotonische Koëffizienten.

Die Größe der osmotischen Leistungsfähigkeit einer Zelle ist abhängig von der Qualität und Quantität der im Zellsaft vorhandenen, wasseranziehenden Substanzen, Mineralstoffe, Zuckerarten, organische Säuren etc. (Ueber Vorkommen mancher solcher Stoffe vergl. den 3. Abschnitt.) Es ist nun sehr wichtig, daß die osmotische Leistungsfähigkeit gleicher Mengen der verschiedenen in den Zellsäften der Pflanzen vorhandenen Substanzen keineswegs die nämliche ist. H. de Vries hat Zahlen ermittelt, welche uns die relative Größe der osmotischen Leistungsfähigkeit eines Moleküls eines Körpers in verdünnter wässriger Lösung angeben. Diese Zahlen bezeichnet er als die isotonischen Koëffizienten der betreffenden Substanzen. Zum Ausgangspunkt seiner gesamten Untersuchungen wählt H. de Vries die wasseranziehende Kraft des Kalisalpeters. Der isotonische Koëffizient eines Moleküls dieser Verbindung ist, um mit ganzen Zahlen operieren zu können, = 3 gesetzt worden.

Wir lassen hier theoretische Auseinandersetzungen, auch z. B. solche über die moderne Van't Hoffsche Theorie der Osmose, beiseite, und stellen sofort Experimente an, um uns an der Hand der Resultate derselben über

das Wesen des Gedankenganges sowie der Methode von H. DE VRIES zu orientieren. Man bereitet sich 4 Lösungen von Kalisalpeter in Wasser. Die erste enthält 0,1, die zweite 0,12, die dritte 0,13, die vierte 0,15 Moleküle des Salzes, in Gramm ausgedrückt, im Liter. (Molekulargewicht des Kalisalpeter $KNO_3 = 101$.) Ferner stellt man sich 4 Rohrzuckerlösungen in Wasser her, von denen die erste 0,15, die zweite 0,2, die dritte 0,22 und die vierte 0,25 Moleküle Rohrzucker, in Gramm ausgedrückt, im Liter enthält. (Molekulargewicht des Rohrzuckers $C_{12}H_{22}O_{11} = 342$.) Je 15 ccm dieser 8 Lösungen werden in kleine Glasgefäße gebracht, und in jede Lösung gelangt noch ein kleiner, etwa 1—2 mm langer Streifen der Epidermis des Mittelnerven von der Unterseite des Blattes von Tradescantia discolor. Die Epidermiszellen dieses Untersuchungsobjektes, von dessen vorzüglicher Brauchbarkeit ich mich überzeugte, enthalten roten Farbstoff in ihrem Zellsaft. Die Pflanze steht, was von besonderer Wichtigkeit ist, zu jeder Jahreszeit zur Disposition; sie ist im Warmhause zu kultivieren. Man läßt die Epidermiszellen 2 Stunden lang mit den Flüssigkeiten in den verschlossenen Gefäßen bei gewöhnlicher Zimmertemperatur in Berührung und untersucht das Gewebe dann mikroskopisch. Es handelt sich darum, festzustellen, ob die Flüssigkeiten eine mehr oder minder weitgehende Plasmolyse in den Epidermiszellen hervorgebracht haben, oder ob eine Plasmolyse noch nicht eingetreten ist. Der Beginn der Plasmolyse, auf den es uns besonders ankommt, ist unter Benutzung der gefärbten Epidermis von Tradescantia discolor leicht zu erkennen. Er ist durch ein eben sichtbares Zurückweichen des Protoplasmas von der Membran der Zellen charakterisiert, und wir reden im folgenden vom „Beginn" der Plasmolyse, wenn sich das Plasma in etwa der Hälfte aller Zellen eines Objektes etwas kontrahiert hat.

Man wird finden, daß die Lösungen von 0,1 Kalisalpeter und 0,15 Rohrzucker keine Plasmolyse hervorrufen, diejenigen von 0,15 Kalisalpeter und 0,25 Rohrzucker aber schon recht erhebliche plasmolytische Wirkungen veranlassen. Der Beginn der Plasmolyse tritt bei dazwischenliegenden Konzentrationen ein, z. B. bei Lösungen von 0,13 Kalisalpeter und 0,22 Rohrzucker. Diese beiden Lösungen würden danach die nämliche wasseranziehende Kraft besitzen; sie rufen beide den Beginn der Plasmolyse hervor; ihre isotonischen Koëffizienten sind die gleichen. Die Werte 0,22 und 0,13 stehen nun zueinander in dem Verhältnis von 1 zu 0,591, und wenn wir den isotonischen Koëffizienten eines Moleküls des Kalisalpeters = 3 setzen, so berechnet sich derjenige eines Moleküls Rohrzucker zu 1,77. 0,591 Moleküle Salpeter leisten dasselbe wie ein Molekül Rohrzucker, woraus sich jener Wert ergibt.

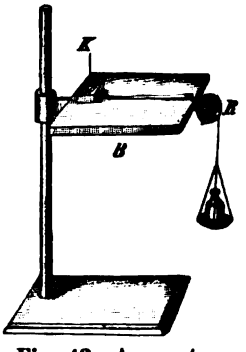


Fig. 43. Apparat zur Bestimmung der Größe der Turgorkraft.

68. Die Größe der Turgorkraft.

Handelt es sich darum, die Größe der in Pflanzenteilen tätigen Turgorkraft festzustellen, so experimentiert man zweckmäßig mit ca. 75 cm langen, im Dunkeln zur Entwickelung gelangten Hypokotylen von Lupinus luteus. Man bringt in einer Entfernung von 65 mm Tuschestriche auf den Untersuchungsobjekten an und legt sie dann 24 Stunden lang zur Plasmolyse in

10-proz. Kochsalzlösung. Die eingetretene Verkürzung beträgt z. B. 5 mm. Jetzt werden die Pflanzenteile unter Benutzung des in Fig. 43 abgebildeten Apparates einer Dehnung unterzogen. Sie ruhen dabei in horizontaler Lage auf dem Brett B, oder besser noch auf einer Korkplatte; ihr dünneres Ende wird mit einer kleineren Korkplatte K bedeckt, welcher man mit Hülfe einer Schraube eine unverrückbare Lage erteilt, während um ihr basales Ende ein Faden geschlungen wird. Der Faden läuft um eine Rolle R und trägt eine Schale, die zur Aufnahme von Gewichten bestimmt ist. Man belastet die Schale so lange, bis die Entfernung zwischen den auf Stengelstücken vorhandenen Marken wieder dieselbe wie vor der Plasmolyse, also 65 mm, geworden ist. Was im Experiment die Dehnung durch das Gewicht leistet, das leistet in der Natur die Turgorkraft. Wir können somit durch unser Experiment die Größe der letzteren ermitteln. Wenn der mittlere Durchmesser eines Stengelstückes 2 mm beträgt, so ist die entsprechende Querschnittfläche 3,14 qmm ($r^{\square}p$). Brauchte man ferner z. B. 75 g (inkl. dem Gewicht der Schale), um den plasmolytisch gemachten Stengel bis auf seine ursprüngliche Länge auszudehnen, so berechnet sich daraus die Größe der Turgorkraft im frischen Pflanzenteil = ca. $2^1/_2$ Atmosphären.

69. Temperaturzustand der Gewächse.

a) Experimente mit Echinopsis multiplex. In ein Exemplar dieser Pflanze, welche zur Familie der Cacteen gehört, wird mittelst eines Korkbohrers eine bis zur Mitte des Untersuchungsobjektes reichende Oeffnung gebohrt, die Bohrung mit Fließpapier gereinigt, um ein Thermometer mit cylindrischem Quecksilberbehälter in dieselbe einzuführen. Man setzt die Pflanze nun im Freien direktem Sonnenlicht aus. Man stellt jetzt am Tage und in der Nacht Beobachtungen über den Temperaturzustand der Versuchspflanze an. Zum Vergleich wird auch der Stand des Quecksilbers eines im Schatten in gehöriger Entfernung vom Erdboden aufgehängten Thermometers ermittelt. Im direkten Sonnenlicht kann sich die Pflanze bis über 45° C erwärmen.

Wenn man ein Thermometer in das Blatt einer längere Zeit besonnt gewesenen Aloëpflanze einführt, so steigt das Quecksilber sofort bedeutend.

b) Experimente mit Helianthus. Stark transpirierende Blätter haben vielfach eine etwas geringere Temperatur als die Luft, da die in ihren Geweben produzierte Eigenwärme (über Eigenwärme der Pflanzen vergl. unter 122) nicht hinreicht, um die Wärmeverluste bei der Verdunstung zu decken. Ein ungefähr $^3/_4$ m langer, reich beblätterter Sproß von Helianthus tuberosus wird mit der Basis in Wasser gebracht und in einem nach Norden gelegenen Zimmer aufgestellt. Nach einigen Stunden, wenn Temperaturdifferenzen sich ausgeglichen haben, bringt man den cylindrischen Quecksilberbehälter eines recht empfindlichen, in Zehntelgrade geteilten Thermometers, das an einem geeigneten Stativ befestigt ist, mit der Unterseite eines Blattes des Sprosses in direkte Berührung. Etwa nach $^1/_4$ Stunde liest man die Temperatur ab, entfernt das Thermometer, ohne es selbst zu berühren, vom Blatt und bestimmt die Temperatur der umgebenden Luft. Lufttemperatur z. B. 17,2° C, Temperatur des Blattes 16,5° C.

c) Wärmeleitung im Holz. Eine glatt gehobelte Platte Linden- oder Birkenholzes wird mit Hülfe eines in geschmolzenes Wachs eingetauchten Pinsels mit einer dünnen Wachsschicht überzogen. Man erwärmt nun eine Stricknadel in einer Gasflamme und stemmt ihr warmes Ende

rechtwinkelig gegen die Holzplatte. Es entsteht eine Schmelzungszone (Fig. 44 *S*), die eine Ellipse darstellt, deren größere Achse parallel zu den Holzfasern gerichtet ist. Man kann die Länge der größeren und kleineren Achse der Ellipse messen, um daraus das Verhältnis der Wärmeleitungsgeschwindigkeit in der Längs- und Querrichtung des Holzes zu berechnen. Wenn man an der Stelle der Holzplatte eine mit dünner Wachsschicht überzogene Glasplatte zum Experiment benutzt, so erhält man eine kreisförmige Schmelzungszone.

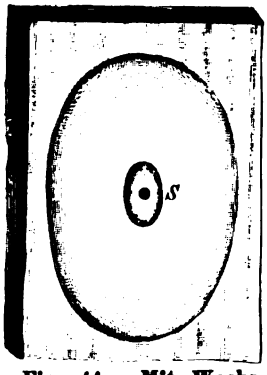


Fig. 44. Mit Wachs überzogene Holzplatte. *S* Schmelzungszone.

d) Baumtemperaturen. An der Nordseite eines Baumstammes wird mit Hülfe eines Bohrers in horizontaler Richtung ein Loch angebracht. In dieses wird ein Thermometer mit cylindrischem Quecksilberbehälter 12 cm tief eingeführt und mittelst erweichten Wachses luftdicht eingekittet. Ein zweites Thermometer wird zur Bestimmung der Lufttemperatur mit Hülfe eines Bindfadens an einem Zweige des Baumes befestigt. Während der Beobachtungen notiere man auch, ob Regen fällt, ob der Himmel bewölkt oder klar ist, ob Wind herrscht. Einer Versuchsreihe, die Schleichert in meinem Praktikum ausführte, seien folgende Angaben entnommen. Pavia rubra. Bohrloch $1^1/_2$ m über dem Boden. Stammumfang hier 120 cm.

Datum	Zeit der Beobachtung	Baumtemperat.	Lufttemperat.	Differenz	Witterungsverhältnisse
13. Juni	nachm. $7^3/_4$ Uhr	15,2° C	14,5° C	0,7	Himmel heiter
14. „	vorm. $6^1/_4$ „	13,7° „	9,5° „	4,2	Himmel bewölkt
14. „	mittags 12 „	12,8° „	17,3° „	4,5	Himmel leicht bewölkt
14. „	nachm. $3^1/_2$ „	13,5° „	18,7° „	5,2	heiter, etwas windig
14. „	nachm. $7^3/_4$ „	14,4° „	14,5° „	0,1	leicht bewölkt, still
14. „	nachts 12 „	14,7° „	10,6° „	4,1	sternenhell, still
15. „	vorm. $6^1/_4$ „	14,0° „	12,3° „	1,7	heiter, leichter Wind
15. „	mittags 12 „	13,8° „	17,8° „	4,0	leicht bewölkt, stärkerer Wind
15. „	nachm. $3^1/_4$ „	14,1° „	18,5° „	4,4	Himmel hell, windig
15. „	nachm. $7^3/_4$ „	14,8° „	15,0° „	0,2	leicht bewölkt, still

Infolge geringer Wärmeleitungsfähigkeit des Holzes zeigt das Innere des Baumes die höchste Temperatur erst in der Nacht, die niedrigste dagegen am Tage.

Im Inneren eines Baumes kann bei strenger Kälte eine Temperatur von — 10° C herrschen.

IV. Gasbewegung in der Pflanze.

Der Gasaustausch zwischen der atmosphärischen Luft und dem Inhalt des Intercellularsystems der Landpflanzen (und auch der mit schwimmenden Blättern versehenen Wasserpflanzen) wird vor allem durch die Spaltöffnungen und Lenticellen vermittelt. Dabei spielt die Diffusion der Gase die wichtigste Rolle; sie wird dadurch angeregt,

laß die Zusammensetzung der Gase im Innern der Gewächse, namentlich nfolge des Stattfindens der Assimilation sowie der Atmung, keineswegs lerjenigen der atmosphärischen Luft gleicht. Diosmotische Vorgänge ind dagegen tätig bei dem tatsächlich möglichen Uebergang geringer Gasmengen aus der Luft durch die Cuticula in das Innere der Landpflanzen, bei dem Gasaustausch submerser Wasserpflanzen, bei dem Gaswechsel zwischen Zellen und Intercellularen (Durchtritt der Gase durch mbibierte Cellulosehäute).

Die Gase diosmieren die Membranen der Zellen um so leichter, je wasserreicher dieselben sind. Absolut impermeabel für Gase dürften aber auch keine völlig trockenen Membranen sein. Leichter im Wasser lösliche Gase, z. B. CO_2, diosmieren schneller als andere. In manchen Fällen mag das Absorptionsvermögen der Membransubstanz für Gase den Verlauf des Gaswechsels beeinflussen. Am leichtesten diosmieren die Gase sicher mit Wasser imbibierte Cellulosehäute, schwieriger verholzte, verkorkte und cuticularisierte Membranen, namentlich wenn die letzteren mit Wachs imprägniert sind.

Die Geschwindigkeit des gesamten Gasaustausches zwischen Luft und Pflanze ist wesentlich bestimmt durch Organisationsverhältnisse der letzteren, Zahl und Weite der Intercellularen, Zahl der Stomata, Oeffnungszustand derselben etc.

In den Intercellularen der Landpflanzen stehen die Gase zumeist nahezu unter dem Druck der umgebenden Luft. Kleine Differenzen können durch Veränderungen der Temperatur oder des Luftdruckes oder durch Erschütterungen der Gewächse bedingt sein. Beim Ausgleich solcher Unterschiede spielen Massenbewegungen der Gase (Transpiration sowie Effusion) eine wesentliche Rolle. Gastranspiration kommt zu stande, wenn Gase durch Kapillaren (enge Intercellularen) gepreßt werden, während die Effusion den Vorgang des Durchtrittes der unter Druck stehenden Gase durch eine mit engen Poren versehene Scheidewand (Epidermis mit Spaltöffnungen) darstellt.

Einen erheblichen positiven Druck gewinnen nicht selten die Gase im Intercellularsystem submerser, spaltöffnungsfreier Wasserpflanzen, wenn diese letzteren stark assimilatorisch tätig sind, und der relativ schwer in Wasser lösliche Sauerstoff nicht schnell genug in die umgebende Flüssigkeit übertreten kann.

Unter negativem Druck (unter Umständen nur $^1/_3$ Atmosphärendruck) befindet sich dagegen das Gas in den Gefäßen stark transpirierender Gewächse. Das aus den Tracheen infolge der Verdunstung verschwindende Wasser wird nur langsam durch Luft ersetzt, denn die verholzten Membranen, so permeabel sie auch für Wasser sind, lassen selbst

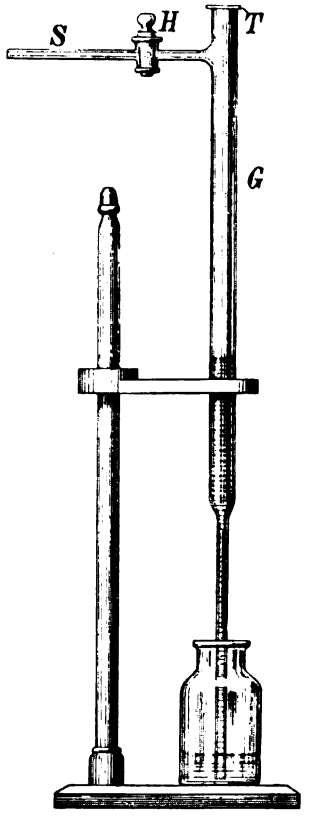


Fig. 45. Apparat für Untersuchungen über die Diffusion der Gase.

unter Druck stehende Gase sehr schwer passieren, und zwar um so schwerer, je wasserärmer die Holzsubstanz ist. Absolute Impermeabilität besteht wohl niemals. Aehnlich verhalten sich verkorkte Membranen und andere Membranen den unter Druck stehenden Gasen gegenüber. (Wiesner, Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. zu Wien, Bd. 79 u. 98; P. Claussen, Flora, 1901. Der negative Gasdruck in den Pflanzen ist namentlich von Höhnel, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 12, studiert worden. Eingehende Untersuchungen über Oeffnungs- und Schließungsbewegungen der Spaltöffnungen führten besonders Mohl, Schwendener, Leitgeb Stahl, Fr. Darwin aus.)

70. Gasdiffusion.

Die Geschwindigkeit, mit der die Diffusion der Gase (auch z. B. durch poröse Scheidewände) erfolgt, verhält sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus dem spezifischen Gewicht der Gase. Um zu demonstrieren, daß Wasserstoff schneller diffundiert als atmosphärische Luft, stellen wir folgenden Versuch an (vergl. Fig. 45). Eine trockene Tonplatte *T* von 5 mm Dicke wird mittelst Siegellackes am oberen Ende des Glasrohres *G*, dessen Weite 15 mm, und dessen Länge ca. 30 cm beträgt, befestigt. Das untere Ende des Rohres *G* taucht in Wasser ein. Durch das Rohr *S* wird Wasserstoff zugeleitet. Man schließt später den Hahn *H* und läßt den Apparat ruhig stehen. Das Wasser steigt alsbald im Rohr *G* empor, weil der Wasserstoff schneller durch die Tonplatte austritt, als Luft eindringt.

Fig. 46. Apparat für Untersuchungen über Gasdiosmose.

71. Gasdiosmose.

Der freilich noch auf seine Leistungsfähigkeit zu prüfende Apparat kann folgender sein. Ein kalibriertes Glasrohr *G* (vergl. Fig. 46) von ca. 60 mm Länge und 7 mm Weite ist mit dem Ansatzrohr *g* versehen und taucht mit seinem unteren Ende in Quecksilber ein. Auf das obere Ende des Rohres wird der zerlegbare Metallaufsatz *M* eingekittet, in welchem das Untersuchungsobjekt (z. B. ein frisches Blattstück von Hedera oder Juglans), mit der spaltöffnungsfreien Oberseite nach unten gekehrt, luftdicht eingepaßt werden kann. Die Verschraubung von *M* muß natürlich eine durchaus luftdichte sein. Wir leiten trockene CO_2 in den Apparat ein und schließen den Hahn *H*. Ein langsames Steigen des Quecksilbers im Glasrohr *G* würde diosmotischen Durchtritt der CO_2 durch das feucht zu haltende Blattstück anzeigen. Nasse Watte kann zur Anfeuchtung des Blattstückes dienen. Genaue Versuche sind natürlich unter Berücksichtigung aller Vorsichtsmaßregeln auszuführen, welche bei gasanalytischen Arbeiten erforderlich sind (vergl. unter 119).

72. Geringe Durchlässigkeit des Korkes für Gase, die unter Druck stehen.

Kork, cuticularisierte und andere Membranen sind freilich nicht absolut, wohl aber sehr schwer permeabel für unter Druck stehende Gase. Das Korkgewebe läßt daher z. B. bei nicht zu hohem Ueberdruck, der auch nicht gar zu lange Zeit wirksam ist, keine Luft passieren. Man befestigt einen dünnen Korkquerschnitt, der aus einem kleinen Pfropf mit Hülfe des Rasiermessers hergestellt worden ist, luftdicht mittelst feinen Siegellackes auf der Oeffnung des kürzeren Schenkels eines gebogenen Glasrohres von einigen Millimetern Weite. Korklamelle und Gas sind vor dem Auftragen des Lackes etwas zu erwärmen. Wird nun in den längeren Schenkel des Rohres Quecksilber gegossen, so entweicht selbst bei erheblichem Ueberdruck keine Luft durch die Korkplatte.

73. Geringe Durchlässigkeit der Holzmembranen für Gase.

Die Membranen des Holzes verhalten sich den unter Druck stehenden Gasen gegenüber ähnlich wie die unter 72 erwähnten Membranen. Ein entrindetes Zweigstück von Taxus baccata, 6 cm lang und 8 mm Durchmesser besitzend, das 24 Stunden lang in Wasser gelegen hat, wird mittelst Kautschukschlauches an dem kürzeren Schenkel eines Glasrohres luftdicht befestigt (vergl. Fig. 47). Das Rohr hat einen lichten Durchmesser von 8 mm; der längere Schenkel mißt ca. 50, der kürzere 18 cm. Wir stellen den Apparat in einen großen, mit Wasser angefüllten Glascylinder und gießen unter Benutzung eines Trichters Quecksilber in den längeren Schenkel des gebogenen Rohres. Oft entweicht bei 28 cm Quecksilberüberdruck noch keine Spur Luft aus dem Taxuszweigstück. Wenn man findet, was zuweilen der Fall ist, daß das Holz schon bei relativ geringem Ueberdruck Luft passieren läßt, so deutet dies auf das Vorhandensein sehr langer Tracheiden in der Markkrone oder auf die Anwesenheit von Intercellularen hin, die nach Russow auch dem Koniferenholz nicht völlig fehlen.

Fig. 47.

Fig. 48.

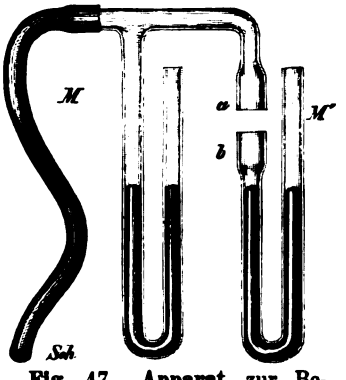


Fig. 47. Apparat zur Bestimmung der Wegsamkeit der Gefäße des Holzes für Luft.

Fig. 48. Poroskop.

74. Das Poroskop.

Auch mit Hülfe des Poroskops von Christiani kann man zeigen, daß die Tracheiden des Holzes impermeabel für Luft sind, die unter gewissem Druck steht. Der aus Glas gefertigte Apparat ist in Fig. 48 dargestellt und besteht, wie man sieht, im wesentlichen aus 2 Manometern. Wird zwischen *a* und *b* ein entrindetes kurzes Stück eines Zweiges von Taxus oder Abies mit Hülfe von Siegellack luftdicht eingeschaltet, und bläst man nun in das Ende des Schlauches *Sch* hinein, so verändert

sich natürlich der Stand des Quecksilbers im Manometer *M* bedeutend, derjenige des Quecksilbers im Manometer *M'* aber nicht, da keine Luft das Holz passiert. Verwendet man gefäßreiches Holz dikotyler Pflanzen zum Versuch, so ruft natürlich das Einblasen von Luft sofort eine Aenderung des Quecksilberstandes in beiden Manometern hervor, indem durch die Gefäße eine offene Kommunikation zwischen *a* und *b* hergestellt ist.

75. Wegsamkeit der Gefäße für Gase (Transpiration der Gase).

Ein nicht entrindetes Zweigstück von Pavia rubra von 8 mm Durchmesser und 6 mm Länge wird mittelst Kautschukschlauches am kürzeren Schenkel des Glasrohres (Fig. 47) befestigt. Wir gießen Quecksilber in den längeren Schenkel. Aus der glatten Schnittfläche des Pflanzenteiles entweichen zahllose Gasblasen. Die Luft wird in die Gefäße des Holzes hineingepreßt und steigt schließlich im Wasser empor. Nach geraumer Zeit hört der Gasaustritt aus dem Pflanzenteil allmählich auf, trotzdem das Quecksilber im längeren Schenkel des Glasrohres noch höher als im kürzeren steht (Die Niveaudifferenz ist zu bestimmen.) Die Gefäße sind durch eingetretenes Wasser verstopft, und der noch vorhandene, nur relativ geringe Quecksilberdruck ist nicht im stande den kapillaren Widerstand zu überwinden. Zur Demonstration der Tatsache, daß auch in feinen Glasröhren, die Wasser enthalten, ein kapillarer Widerstand besteht, dient ein in Wasser gestelltes, gebogenes Glasrohr (vergl. Fig. 49), dessen kürzerer Schenkel ausgezogen ist. Gießt man Quecksilber in den längeren Schenkel, so tritt natürlich zunächst die Luft aus der Kapillare hervor. Wenn der Blasenstrom aufhört, so steht das Quecksilber aber noch höher im längeren als im kürzeren Schenkel des Rohres.

Fig. 49.

76. Die Intercellularen.

Der Querschnitt frischer oder in Alkohol konservierter Maisstengel zeigt die durch das Grundgewebe verteilten Gefäßbündel. Ueber den Bau derselben vergl. Fig. 50.

Fig. 50.

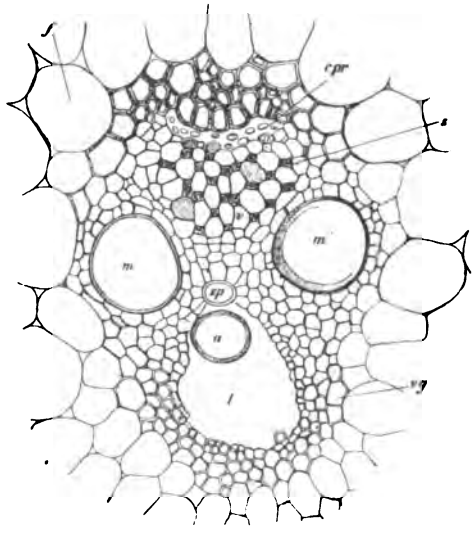


Fig. 49. Apparat zur Bestimmung der Wegsamkeit von Kapillaren für Luft.

Fig. 50. Querschnitt durch ein Gefäßbündel aus dem inneren Teile eines Internodiums des Stengels von Zea Mays. *a* Glied eines Ringgefäßes, *sp* Schraubengefäß, *m* und *m'* unbehöft getüpfelte Gefäße, *v* Siebröhre, *s* Geleitzellen, *cpr* zerquetschte Cribralprimanen (Erstlinge des Bastteiles), *l* Intercellulargang, *eg* Scheide, *f* Zelle des Grundgewebes. Vergr. 180. (Nach STRASBURGER.)

Zwischen den Zellen des Grundgewebes sind kleine, schizogen entstandene Intercellularen vorhanden. In jedem Fibrovasalstrang erblickt man den großen, lysigen gebildeten Intercellulargang *L*.

Juncus glaucus. Stark cuticularisierte Epidermis. Unter dieser wechseln grünes Gewebe und Gruppen von Sklerenchymfasern ab. Unter letzteren weite Intercellularen. Ferner erblickt man die Gefäßbündel. Mark nicht kontinuierlich, sondern von Diaphragmen gebildet, die aus vielarmigen, sternförmigen Zellen bestehen.

Ueber den Bau der vegetativen Sprosse von Equisetum arvense vergl. Fig. 51.

77. Lenticellen.

a) Bau derselben. Auf dem Querschnitt durch einen ca. 4 mm dicken, jungen Zweig von Sambucus nigra zeigen die Lenticellen die in

Fig. 51.

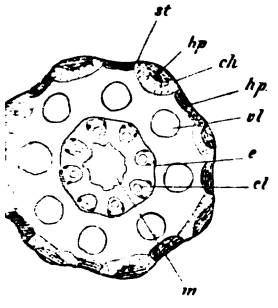


Fig. 52.

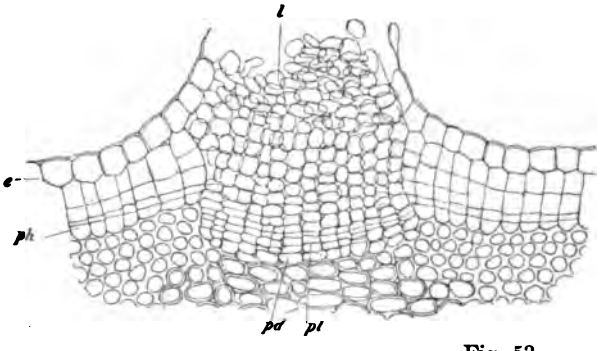


Fig. 52 dargestellte Beschaffenheit. An denjenigen Stellen, wo Lenticellen vorhanden sind, ist die Epidermis aufgerissen. Die Füllzellen der Lenticellen schließen nicht lückenlos zusammen; sie sind in Gestalt stark gebräunter Massen leicht zu erkennen.

b) Druckversuche. Um nachzuweisen, daß eine Kommunikation zwischen der Atmosphäre und den Gasen der Intercellularen im Innern der Pflanze unter Vermittelung der Lenticellen besteht, befestigen wir ein mit Lenticellen besetztes Zweigstück *z* von Pavia rubra (6 cm lang und 8 mm Durchmesser) mittelst feinen, leicht schmelzbaren Siegellackes am gebogenen Glasrohr *g* (vergl. Fig. 53). Die obere Schnittfläche des Zweigstückes ist sorgfältig mit Siegellack zu verkitten. Wir gießen

Fig. 53.

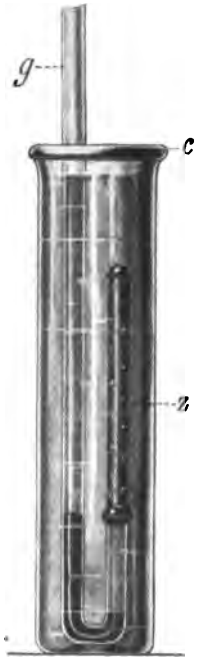


Fig. 51. Querschnitt durch das Internodium eines sterilen Sprosses von Equisetum arvense. *m* Mark, *cl* Carinalhöhle im Gefäßbündel, *e* Endodermis, *vl* Vallekularhöhle, *hp* Sklerenchymfaserstrang, *ch* grünes Gewebe, *st* Spaltöffnungsapparat. (Nach STRASBURGER.)

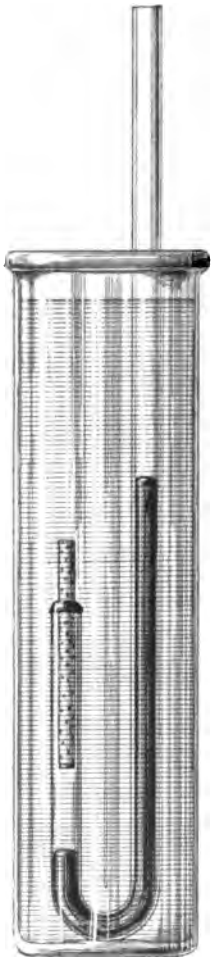
Fig. 52. Querschnitt durch eine Lenticelle von Sambucus nigra. *e* Epidermis, *ph* Phellogen oder Korkcambium, *l* Füllzellen, *pl* Cambium der Lenticelle, *pd* Phelloderma. (Nach STRASBURGER.)

Fig. 53. Apparat zum Nachweis der Durchlässigkeit der Lenticellen für Luft.

Quecksilber in den längeren Schenkel des Rohres und pressen auf solche Art Luft in die Rindenintercellularen ein. Bei etwa 12 cm Ueberdruck entweicht die Luft aus den Lenticellen. Wir haben unsere Vorrichtung in einen mit Wasser angefüllten Glascylinder *c* gestellt. Die Gasblasen lösen sich langsam von den Rindenporen los und werden alsbald durch neue ersetzt.

c) Einpressen von Luft in die Lenticellen. Ein mit vielen Lenticellen besetztes Zweigstück von Syringa (8 mm Durchmesser und 12 cm lang) wird mittelst Siegellackes derartig im kürzeren Schenkel eines Glasrohres befestigt, daß es zu $^2/_3$ seiner Länge in dieses hineinragt. Das Rohr hat ca. 12 mm Weite; sein kürzerer Schenkel ist 18, sein längerer 50 cm lang. Am unteren Ende des Zweigstückes ist die Schnittfläche desselben versiegelt. Die ganze Vorrichtung taucht in Wasser ein (vergl. Fig. 54). Jetzt gießen wir Quecksilber in den längeren Schenkel des Rohres. Bei 20 cm Ueberdruck entweicht nur Luft aus den Lenticellen und den Intercellularen der Rinde des außerhalb des Rohres befindlichen Teiles unseres Zweigstückes. Bei höherem Druck tritt auch Luft aus dem Holzkörper hervor. Es ist nämlich zu bedenken, daß die verholzten Membranen nicht absolut impermeabel für Gase sind, und daß auch im Holz freilich sehr enge Intercellularen vorkommen.

Fig. 54.



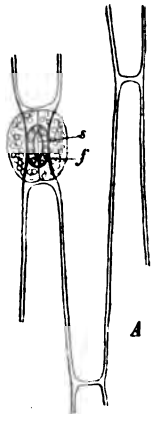


Fig. 55.

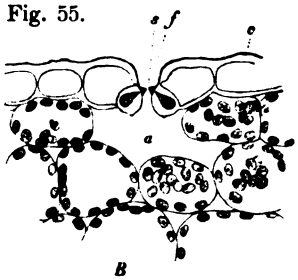
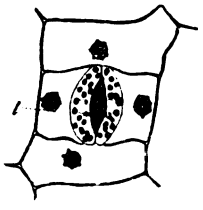


Fig. 56.



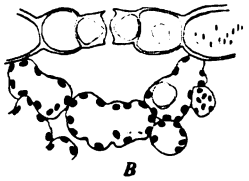


Fig. 54. Apparat zum Nachweis der Durchlässigkeit der Lenticellen für Gase und der geringen Durchlässigkeit verholzter Membranen für dieselben.

Fig. 55. Epidermis der Blattunterseite von Iris florentina. A von oben, B im Querschnitt. *f* Grübchen, *s* Spalt, *c* Cuticula, *a* Atemhöhle. (Nach STRASBURGER.)

Fig. 56. Epidermis der Blattunterseite von Tradescantia virginica. A von oben, B Querschnitt. Leukoplasten an den Zellkernen. (Nach STRASBUGER.)

78. Spaltöffnungsapparate.

a) Bau derselben. Gute Objekte zum Studium der Spaltöffnungsparate sind die Blätter von Hyacinthus orientalis, Lilium candidum, adescantia virginica (Blattunterseite viel reicher an Spaltöffnungen ı Oberseite), Iris florentina. Man zieht Epidermisstreifen von den ättern ab und stellt zarte Blattquerschnitte zwischen Holundermark r (vergl. Fig. 55 und 56). Spalte, Atemhöhle, Schließzellen, welche e Spalte begrenzen, bei Tradescantia auch die beiden Nebenzellen sind erkennen. Man achte auch auf die Verdickungsart, welche die embranen der Schließzellen darbieten. (Näheres in Strasburgers raktikum.)

b) Anzahl der Spaltöffnungsapparate. Nach Weiss beägt die Anzahl der Stomata auf 1 qmm Blattfläche bei:

	Oberseite	Unterseite
Acer platanoides	0	550
Brassica oleracea	219	301
Helianthus annuus	175	325
Ficus elastica	0	145
Orchis latifolia	20	67
Nymphaea alba	460	0

Bei Spaltöffnungszählungen ist darauf zu achten, um wirklich Mittelwerte zu gewinnen, stets zahlreichere Beobachtungen an verschiedenen Stellen eines Blattes vorzunehmen. Man zieht Epidermisstreifen von der Ober- und Unterseite ausgewachsener Blätter ab, bringt dieselben in einem Wassertropfen auf den Objektträger, legt ein Deckglas auf und bestimmt die Anzahl der im Gesichtsfeld des Mikroskops zu erblickenden Stomata. Die wirkliche Größe des Gesichtsfeldes ist leicht festzustellen, indem man den Gesichtsfelddurchmesser mit Hülfe eines Objektivmikrometers ermittelt, um unter Zugrundelegung des erhaltenen Wertes die Fläche des Gesichtsfeldes zu berechnen. Es ist schließlich nur noch erforderlich, die für die Anzahl der Spaltöffnungen gefundenen Zahlen auf die Flächeneinheit, z. B. 1 qmm, umzurechnen.

Geeignete Objekte zur Uebung sind Blätter von Iris, Lilium, Hyacinthus und Cyclamen; letzteres Blatt ist oberseits spaltöffnungsfrei, unterseits führt es Stomata. Wenn das Gesichtsfeld 0,40 mm Durchmesser besitzt, so ist die Fläche desselben ($r^{\square}p$) = 0,20 × 0,20 = 0,040 × 3,14 = 0,1256 qmm.

c) Oeffnungs- und Schließungsbewegungen der Spaltöffnungsapparate durch Welken und Turgorveränderungen. Blätter von Orchis mascula oder Lilium candidum, die völlig frisch sind, haben geöffnete Spaltöffnungen, wie leicht durch Untersuchung abgezogener Epidermisstreifen festgestellt werden kann. Dagegen sind die Stomata gewelkter Blätter genannter Pflanzen geschlossen. Legt man Epidermisstreifen von Orchis oder Lilium in einen Tropfen Rohrzuckerlösung, so schließen sich die Stomata. Beseitigung des Zuckers und Zufuhr von Wasser bedingt abermals Oeffnungsbewegungen der Spaltöffnungsapparate. Jede Erhöhung des Turgors der Schließzellen ruft eine Erweiterung der Spalte, jede Senkung des Turgors aber eine Verengung derselben hervor. Dabei erfahren die Schließzellen Formänderungen, und für das Zustandekommen der gesamten Bewegungen ist namentlich die eigentümliche Verdickung der Membranen der Schließzellen von hoher Bedeutung. (Ueber die sehr komplizierte Mechanik der Spaltöffnungsbewegungen vergl. namentlich Schwendener, Monatsberichte der Berliner Akademie der Wissensch., 1881.)

Frische Blätter, die wir der perennierenden Amaryllis formosissima am Tage entnehmen, haben geöffnete Spaltöffnungen. Halb abgewelkte Blätter der Pflanze zeigen dagegen geschlossene Stomata. Man tut wohl, die Schnitte bei der Ausführung dieser Beobachtungen trocken zu untersuchen und ihnen erst dann Wasser hinzuzufügen, wenn man sich davon überzeugt hat, daß die Stomata der abgewelkten Blätter geschlossen sind. Der Wasserzutritt führt nun dahin, daß sich die Spaltöffnungen in wenigen Minuten weit öffnen, weil der Turgor der Schließzellen erheblich zunimmt. Längeres Verweilen der Untersuchungsobjekte im Wasser bedingt aber einen Verschluß der Spalte, indem allmählich auch der Turgor benachbarter Epidermiszellen bedeutend wächst und der Widerstand der Schließzellen dadurch mehr und mehr überwunden wird. Amaryllis verhält sich also etwas anders als Orchis etc.

Werden aber Amaryllisblättern, die gut besonnt waren, Schnitte entnommen, so gelingt es nicht, durch Wasserzufuhr einen Spaltöffnungsverschluß zu erzielen, da die Schließzellen so reichliche Mengen osmotisch wirksamer Stoffe infolge von Assimilation enthalten, daß sie stark genug turgeszieren, um dem Turgor der benachbarten Epidermiszellen das Gleichgewicht halten zu können.

d) Einfluß der Beleuchtungsverhältnisse. Der Spaltöffnungsapparat vieler Pflanzen reagiert auch auf den Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse. In der Nacht sind z. B. die Stomata von Amaryllis formosissima geschlossen. Direktes Sonnenlicht öffnet sie weit, und wenn man zunächst hell beleuchtet gewesene Amaryllisexemplare plötzlich verdunkelt, so findet man die Spaltöffnungen nach einigen Stunden geschlossen. Man kann auch mit abgeschnittenen und mit der Basis in Wasser gestellten Amaryllisblättern experimentieren. Untersucht man Schnitte solcher Blätter, die mehrere Stunden hell beleuchtet waren, so findet man die Stomata stets offen, bei den Dunkelblättern erscheinen dieselben dagegen geschlossen. Experimentiert man mit Orchisblättern (Orchis mascula), so läßt sich kein Einfluß der Beleuchtungsverhältnisse auf den Spaltöffnungsapparat nachweisen.

Fig. 57. Apparat zum Nachweis der Wegsamkeit der Spaltöffnungen für Luft.

e) Kommunikation der Spaltöffnungen mit den Intercellularen. Wir experimentieren mit völlig unverletzten Blättern von Primula sinensis. Es wird der in Fig. 57 dargestellte Apparat benutzt. Das mit einem doppelt durchbohrten Kautschukkork verschlossene Glas *G* füllt man halb mit Wasser an. Der eine Schenkel des rechtwinkelig gebogenen Glasrohres *R* mündet dicht unter dem Kork; der Stiel des Primulablattes *P* taucht in Wasser ein. Um einen luftdichten Verschluß zu erzielen, verwendet man zur Einkittung des Blattstieles in den Kork eine durch Zusammenschmelzen von 1 Teil Wachs und 1 Teil Schweinefett hergestellte Masse, die man zwischen den Fingern knetet und aufstreicht. Nun wird das freie Ende des Rohres *R* mit der Luftpumpe

a. Verbindung gesetzt. Evakuiert man vorsichtig, so dringt Luft in die Spaltöffnungen der Spreite ein, gelangt in die Intercellularen und tritt aus diesen am Blattstielquerschnitt in das Wasser über, so daß ein Blasenstrom in der Flüssigkeit emporsteigt.

Nimmt man den Blattstielquerschnitt von Primula in den Mund und bläst man heftig in denselben hinein, so sieht man, daß sich größere und kleinere Luftblasen von der Blattspreite ablösen, wenn diese unter Wasser taucht. Es tritt nicht etwa, wie man vielleicht erwartet, aus jeder Spaltöffnung ein feiner Blasenstrom hervor, sondern die ausgepreßte Luft vereinigt sich zu größeren Blasen, die sich nur stellenweise von der Blattfläche abheben. Verweilt die Spreite des Primulablattes einige Zeit unter Wasser, so kann man durch einfaches Blasen keine Luft mehr durch das Untersuchungsobjekt treiben. Die Spaltöffnungen erfahren allmählich eine Verstopfung durch kapillar festgehaltenes Wasser, und sehr schnell erzielt man eine solche bei Primula sinensis auch auf folgende Weise: Man setzt die Lippen an den Blattstielquerschnitt und saugt die Luft aus dem Untersuchungsobjekt heraus, während die Spreite unter Wasser taucht. Die Stomata und die Intercellularen werden dadurch mit Wasser injiziert, und die Blattspreite erfährt infolgedessen eine Farbenänderung; sie wird auch durchscheinender. Durch heftiges Blasen vermag man jetzt keine Luft durch das Blatt zu treiben. Die zuletzt angeführten Experimente kann man auch mit den Blättern von Caltha palustris ausführen.

79. Positiver Gasdruck in der Pflanze.

Ein Elodeasproß von ca. 5 cm Länge wird, nachdem man seine Schnittfläche mit Wachs verklebt hat, in kohlensäurehaltigem Brunnenwasser dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt. Der produzierte Sauerstoff entweicht nicht in dem Maße, in welchem er gebildet wird; er sammelt sich in den Intercellularen an und gibt hier zur Entstehung positiven Gasdruckes Veranlassung. Wenn man den Stengel der Pflanze mit Hülfe einer Nadel verletzt, so quillt daher sofort ein sehr lebhafter, freilich sogleich wieder schwächer werdender Blasenstrom aus der Wunde hervor.

80. Negativer Gasdruck in der Pflanze.

a) Experimente mit Zweigen. Wir stellen den in Fig. 58 abgebildeten Apparat zusammen. Ein Sproß von Lonicera oder Salix fragilis wird mit der Basis in Wasser gestellt. Wir bringen nun das 5 mm weite, gebogene Glasrohr *G* etwa bei *a* mittelst eines Kautschukschlauches in luftdichten Verband mit dem Sproß und sorgen dafür, daß das Glasrohr mit seinem offenen Ende in Wasser oder Quecksilber eintaucht. Infolge der durch die Transpiration des

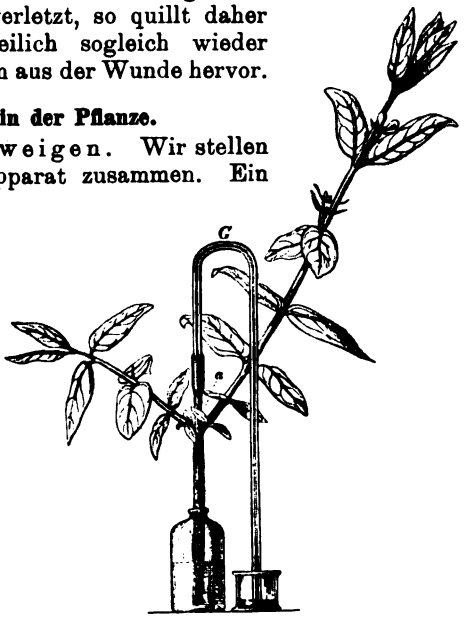


Fig. 58. Apparat zum Nachweis des negativen Druckes der Gefäßluft.

Sprosses hervorgerufenen Verdünnung der Luft in demselben wird die Sperrflüssigkeit allmählich in dem Glasrohr *G* emporsteigen. Benutzt man einen Weidenzweig von ca. 1 m Länge, so ist die Sperrflüssigkeit (Wasser) bereits nach einer Stunde etwas in *G* emporgehoben.

b) Experimente mit Aristolochia Sipho. Es ist, wie PFEFFER zutreffend hervorhebt, noch keineswegs gelungen, die wahre Größe des negativen Druckes der Gefäßluft selbst unter Benutzung von Quecksilber in konkreten Fällen genau zu bestimmen. Zur Zeit müssen wir uns darauf beschränken, das Vorhandensein bedeutenden negativen Gasdruckes in der Pflanze überhaupt zu konstatieren. Aristolochia ist dazu im Sommer ein ausgezeichnetes Untersuchungsobjekt.

Ein langer, 7 mm dicker, mit Periderm versehener und nicht von der Pflanze abgetrennter Aristolochiasproß wird etwa in seiner Mitte in Quecksilber, das sich in einer Schale befindet, hineingebogen. Man stellt das Experiment am Nachmittag eines recht warmen Sommertages an, nachdem die Pflanze also stark transpiriert hat. Man durchschneidet den Zweig mittelst einer scharfen Gartenschere unter Quecksilber und beläßt die Schnittflächen ca. 2 Minuten in demselben. Zerschneidet man die obere und untere Sproßhälfte nun in Stücke von je 1 cm Länge, so kann man leicht nachweisen, daß das Quecksilber bis zu bedeutender Höhe in den Gefäßen des Holzes emporgestiegen ist. Selbst aus Stengelstücken, die recht weit von den Schnittflächen entfernt waren, tritt, wenn man sie stark preßt, Quecksilber hervor.

2 m lange Aristolochiasprosse, die man nicht von der Mutterpflanze losgetrennt hat, werden am Nachmittag eines warmen Sommertages in ihrer Mitte in Eosinlösung gebogen, mittelst der Gartenschere durchschnitten und noch 2 Minuten lang mit den Schnittflächen unter Eosin belassen. Die wäßrige Eosinlösung steigt recht hoch in dem Untersuchungsobjekt empor. Wird ein langer Aristolochiasproß abgeschnitten, nach 2 Minuten langem Verweilen in Luft von der Schnittfläche mittelst des Rasiermessers eine dünne Lamelle abgetragen und dann mit der Basis in Eosinlösung getaucht, so steigt der Farbstoff in abermals 2 Minuten nur bis zu geringer Höhe (höchstens in einigen Gefäßbündeln etwas höher) im Untersuchungsobjekt empor. Durch das Verweilen in der Luft mußte der negative Druck der Gefäßluft ausgeglichen werden; geringes Emporsteigen der Farbstofflösung konnte nur durch Kapillarität vermittelt werden. Die Steighöhe der Flüssigkeit ist stets genau zu bestimmen.

c) Weiteres Experiment mit Aristolochia. Wir schneiden einen 2 m langen Aristolochiasproß ab, verschließen beide Enden desselben mit Kautschukschläuchen, in denen Glasstäbe stecken, luftdicht und lassen 15 Stunden lang im Zimmer welken. Der Sproß wird dann in seiner Mitte unter Eosinlösung durchschnitten. Das Vorhandensein negativen Luftdruckes im Pflanzenteil wird dadurch angezeigt, daß die Farbstofflösung nach 2 Minuten in beiden Hälften des Untersuchungsobjektes hoch emporgestiegen ist. Sie ist auch in die Blattstiele und Rippen der Blattspreiten des Sprosses eingetreten.

d) Experimente mit Phaseolus. Die Versuche können auch im Winter angestellt werden. Wir kultivieren Phaseolus in mittelgroßen Blumentöpfen unter Zinkblechrezipienten, bis die Stengel ca. 35 cm Länge erreicht haben. Man läßt die Pflanzen dann einige Tage unbedeckt im warmen Zimmer stehen, bis sie etwas angewelkt sind.

Wir legen einen Blumentopf horizontal und biegen eine Bohnen-

pflanze derartig, daß der mittlere Teil ihres Stengels in Eosinlösung eintaucht. Wir schneiden den Stengel nun mit der Gartenschere unter der Eosinlösung durch und belassen die Schnittfläche noch 2 Minuten in der Flüssigkeit. Makro- und mikroskopische Untersuchungen lehren, daß die Farbstofflösung viele Centimeter hoch in den Gefäßen des Holzes emporgestiegen ist.

Das Aufsteigen der Eosinlösung in den Gefäßen wird höchstens in beschränktem Maße durch Kapillarwirkung vermittelt, wie der folgende Versuch lehrt. Wir schneiden einen etwas angewelkten Bohnenstengel ab, lassen die Schnittfläche 2 Minuten lang mit der Luft in Berührung, entfernen mittelst eines Rasiermessers eine dünne Gewebeplatte von der Schnittfläche und tauchen diese sofort in Eosinlösung. Nach 2 Minuten läßt sich durch makro- und mikroskopische Untersuchungen feststellen, daß der Farbstoff (wir sehen hier von besonderen, nicht näher zu erörternden Fällen ab) in viel geringerer Menge in dem Untersuchungsobjekt vorhanden ist, als es bei Ausführung des oben erwähnten Hauptversuches der Fall war.

V. Wasser- und Mineralstoffaufnahme seitens der Pflanzen.

1) Wurzeln. Indem die Hauptwurzeln tief in den Boden eindringen, die Nebenwurzeln, nach verschiedenen Richtungen ausstrahlend, schief in das Erdreich hineinwachsen, zudem Nebenwurzeln höherer Ordnung erzeugt werden und reichliche Wurzelhaare vorhanden sind, kann das eine große Oberflächenentwickelung darbietende Wurzelsystem weite Bodenräume für die Wasser- und Mineralstoffaufnahme ausnutzen. Die Wurzeln vermögen nicht nur im Boden disponible, fertige Nährstofflösungen aufzusaugen, sondern sie sind auch im stande (indem sie absorbierte und noch fester gebundene Bodenbestandteile angreifen), sich selbst Nährlösungen zu bereiten. Die äußeren Membranschichten der Wurzelhaare sind, indem sie verschleimen, völlig mit den feinen Erdpartikelchen verklebt. Bei solch innigem Kontakt zwischen Bodenelementen und Wurzelzellen sind letztere befähigt, korrodierend auf erstere einzuwirken (Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen, 1865). Die Wurzeln scheiden Kohlensäure, saures Kaliumphosphat und wohl auch unter Umständen etwas Salzsäure ab (Czapek, Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 29), und diese Stoffe, im gelösten Zustande in den Wurzelhaarmembranen imbibiert, rufen dann die Korrosionen hervor. Die entstandenen Lösungen können durch osmotische Prozesse von den Wurzelhaaren aufgenommen werden, ebenso wie fertige Nährlösungen des Bodens.

Die sehr komplizierten und noch nicht genügend erforschten Vorgänge der Mineralstoffaufnahme seitens der Wurzeln werden auf jeden Fall oft sehr wesentlich durch den Transpirationsvorgang und seine Folgen beeinflußt. Vor allem bedeutungsvoll ist dann aber der Verbrauch der Mineralstoffe im Organismus (Knop, A. Mayer, Pfeffer), indem dieser Verbrauch regulierend auf den Modus der osmotischen Prozesse bei der Salzaufnahme einwirkt. Daher sehen wir z. B., daß aus gleich konzentrierten Lösungen verschiedener Stoffe nicht die nämlichen Salzmengen in die Pflanze übertreten. Vollständige Nährlösungen werden daher in Berührung mit Wurzeln auch zumal an Kali, Salpeter- und Phosphor-

säure erschöpft. Aus verdünnten Nährlösungen wird ferner relativ viel Salz und relativ wenig Wasser von den Wurzeln aufgenommen (W. Wolf).

2) Blätter. Wasseraufnahme seitens der Blätter hat keine große Bedeutung für die Pflanze, kann aber doch unter Umständen in geringem Grade stattfinden. Die Cuticula (ebenso das Korkgewebe) ist wohl niemals absolut impermeabel für Wasser. Ihre Schwerdurchlässigkeit für Wasser kann durch Wachsgegenwart noch erhöht werden. Längere Berührung der Blätter mit dem Wasser ruft Benetzbarkeit derselben hervor, und nun können auch kleine Flüssigkeitsmengen in die Organe eintreten.

3) Bewegungen durch Wasseraufnahme. Verschiedene Pflanzenteile (Involukralblätter von Carlina, Schnabel der Erodiumfrucht, Granne von Stipa) sind infolge der Lebensprozesse derartig organisiert, daß sie im abgestorbenen Zustande in Kontakt mit Wasser, welches sie durch Imbibition aufnehmen, Bewegungen zur Geltung bringen. Dieselben sind vielfach von hoher biologischer Bedeutung für die Gewächse. Es sei hier noch bemerkt, daß vielfach auch Bewegungen an Pflanzenteilen durch Turgorverhältnisse (Asci der Ascomyceten) oder durch Austrocknen und durch die damit gegebenen Spannungszustände (Bewegungen beim Aufspringen reifer Früchte) zur Geltung kommen.

4) Früchte und Samen. Früchte, z. B. Weizenkörner, und Samen, z. B. von Phaseolus, nehmen reichliche Wassermengen (40—100 Proz.) bei der Quellung auf. Imbibition und osmotische Prozesse sind Ursache dieses Vorganges, der mit bedeutender Volumenzunahme der Pflanzenteile verbunden ist. Das Wasser dringt hauptsächlich durch den hilaren Apparat in das Innere der Samen ein. Bei manchen Samen ist deren Schleimgehalt von Wichtigkeit für ihre Quellung.

5) Moose. Die Sphagnumarten können mittelst gewisser Zellen ihrer Blätter Wasser kapillar aufsaugen. Bei Moosen ohne stark entwickelten Zentralstrang ihres Stämmchens (z. B. Hylocomium) kommt für die Wasseraufnahme wesentlich nur äußere Wasserleitung (kapillares Aufsteigen des Wassers zwischen Stämmchen und den diesem dicht anliegenden Blättern) in Betracht. Innere Wasserleitung zeigen dagegen die Moose mit stark ausgebildetem Zentralstrang (z. B. Polytrichum). Hier wird das von den Rhizoiden aufgenommene Wasser im Strang nach aufwärts befördert. (Oltmanns, Inaug.-Dissert. Straßburg, 1884; Jenaische Dissertat. von Rostock.)

81. Wurzelhaare.

a) Sinapis, Lepidium. Samen dieser Pflanzen läßt man auf feuchtem Fließpapier, das in einer Kristallisierschale ruht, keimen. Die hervorgetretenen Wurzeln sind, abgesehen von ihrer Spitze, mit zahlreichen Wurzelhaaren bedeckt.

b) Erbsen. Erbsen keimen so lange in Erde, bis ihre Epikotyle einige Centimeter Länge erreicht haben. Man nimmt die Pflanzen aus dem Keimbett heraus, schwenkt sie in Wasser hin und her und stellt aus dem oberen Wurzelteil Querschnitte her. Der Zentralcylinder der Wurzeln mit triarchem Gefäßbündel ist leicht zu sehen, ebenso das Rindengewebe, sowie die Epidermis, von deren Zellen viele zu langen Wurzelhaaren ausgestülpt sind. An den Haaren kleben noch sehr kleine und etwas größere Erdteilchen fest.

c) Beeinflussung der Wurzelhaarentwickelung durch äußere Umstände. Weizen und Erbsen werden in mäßig feuchter Gartenerde zur Keimung gebracht. Ferner lassen wir Weizen und Erbsen nach dem Anquellen auf feuchtem Fließpapier keimen, um die

Keimlinge alsbald, nachdem sie mit feuchter Watte umgeben worden sind, derart auf Tüll zu legen, mit dem ein Becherglas überspannt ist, daß die Wurzeln in das Wasser eintauchen, welches das Glas anfüllt. Die Kulturen erfolgen unter einer Glasglocke und im Dunkeln. Nach einiger Zeit läßt sich konstatieren, daß „Boden- und Wasserwurzeln" von Triticum Wurzelhaare produziert haben, während die Erbsenwurzeln nur in Kontakt mit dem Boden Haare bildeten.

82. Korrosionserscheinungen.

a) Konstatierung derselben. Ein kleiner Blumentopf wird halb mit feuchtem Sand angefüllt. Auf den Sand legen wir eine wohlpolierte Marmorplatte von 7 mm Dicke und 45 mm Durchmesser, füllen den Topf bis zum Rande mit Bodenmaterial an und legen einen Samen von Phaseolus in dieses ein. Die Wurzeln wachsen, wenn sie die Marmorplatte erreicht haben, horizontal auf dieser fort, später mehr oder minder senkrecht in das Bodenmaterial hinein. Nach 10—14 Tagen unterbricht man den Versuch, nimmt die Platte aus dem Topf, reinigt sie und trocknet sie mit einem weichen Tuche ab. Die Oberseite der Platte (bei *a* Fig. 59 traf die Wurzel auf dieselbe) zeigt an den Kontaktstellen zwischen Wurzeln und Marmor recht breite Korrosionsstreifen. Diese sind entstanden, indem die Wurzeln durch ihre Ausscheidungen den Marmor an den betreffenden Stellen angriffen. Ebenso vermögen die Wurzeln auch lösend und zersetzend auf die kompakten Bodenelemente einzuwirken.

Fig. 59. Fig. 60.

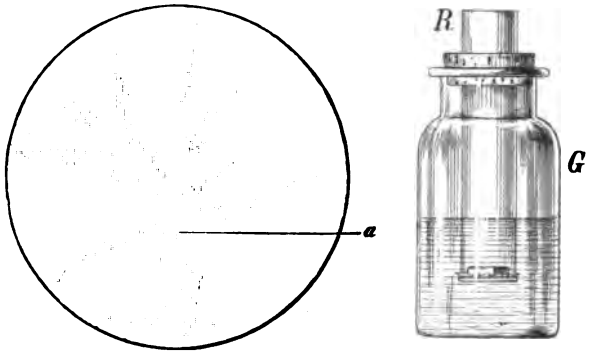


Fig. 59. Marmorplatte, deren Oberfläche durch die Wurzeln eines Phaseolusexemplares korrodiert worden ist.

Fig. 60. Apparat zur Veranschaulichung einiger Vorgänge, die sich bei dem Zustandekommen der Korrosionserscheinungen geltend machen.

b) Ursachen der Korrosionserscheinungen. Wir stellen den in Fig. 60 abgebildeten Apparat zusammen. Das Glas *G* enthält verdünnte Salzsäure. Das ziemlich weite Rohr *R*, durch einen Kork festgehalten, ist am unteren Ende durch Schweinsblase verschlossen. Legen wir ein Stück Marmor auf die mit verdünnter Salzsäure imbibierte Membran, so läßt sich alsbald in der Flüssigkeit des Glases *G* Kalk mit Hülfe von oxalsaurem Ammoniak nachweisen. Es hat also auch im Experiment unter Vermittelung der mit säurehaltigem Wasser durchtränkten Membran eine Korrosion des Marmors stattgefunden. Das Lösungsprodukt passierte die Membran auf osmotischem Wege.

83. Aufnahme verdünnter Nährlösungen seitens der Pflanze.

Wir kultivieren Maispflanzen mit Hülfe der Methode der Wasserkultur (vergl. unter 1). Haben die Untersuchungsobjekte 5 Blätter gebildet, so setzen wir sie 2 Tage lang in destilliertes Wasser ein, das

mehrfach zu erneuern ist. Dann füllen wir den Cylinder mit 200 ccm ca. 0,050-proz. Kalisalpeterlösung an und führen die Wurzeln unserer Pflanzen in diese Flüssigkeit ein. (Befestigung der Pflanzen wie gewöhnlich mittelst Watte in der Bohrung einer Holzplatte oder eines Korkes.) Wenn ca. 100 ccm der Lösung aufgesogen sind, wird der Versuch unterbrochen. Wir verdunsten die Lösung auf ein kleines Volumen, bringen die Lösung in einen Porzellantiegel, verdunsten zur Trockne und trocknen den Rückstand bei 100° C. 80 ccm (Rückstand der Lösung) enthalten z. B. 0,008 g KNO_3. Die ursprüngliche Kalisalpeterlösung ist ebenso untersucht worden. 100 ccm enthielten z. B. 0,068 g KNO_3. Es hat Aufnahme relativ konzentrierter Nährlösung stattgefunden. Der Flüssigkeitsrückstand ist verdünnter als die ursprünglich dargebotene Lösung. (Beobachtung von Manzeck in meinem Praktikum.)

84. Wasseraufnahme der Laubblätter.

a) Wachsüberzüge der Blätter. Blätter von Zea, Aristolochia, Brassica (im Winter Blätter des Grünkohls) werden in Wasser eingetaucht. Nur die größeren Blattnerven sind benetzbar; im übrigen erscheint die Blattoberfläche silberglänzend, da sich zwischen ihrer nicht benetzbaren, wachshaltigen Cuticula und dem Wasser eine das Licht total reflektierende Luftschicht befindet. Längerer Kontakt der Blätter mit dem Wasser veranlaßt Verschwinden des Silberglanzes; die Blätter werden benetzbar.

b) Versuche mit Syringa und Phaseolus. Gewogene Blätter von Syringa werden mit der Spreite in Wasser eingetaucht, während der Blattstiel, der mit Wachs verklebt worden ist, aus der Flüssigkeit hervorragt. Nach 20 Stunden (Lichtabschluß) trocknet man die Blätter sorgsam ab. Gewichtszunahme zeigt Wasseraufnahme seitens der Organe an. Auch etwas angewelkte Primordialblätter der Bohne (Phaseolus) können als Untersuchungsobjekt dienen. Hier wird die Wasseraufnahme nach Haberlandt durch die Hydathoden vermittelt. Solche angewelkte Blätter, mit der Spreite in Wasser eingetaucht, sind nach 12—20 Stunden wieder turgeszent.

c) Wasseraufnahme durch die Oberfläche von Sprossen. Ein Syringasproß (*a*) bleibt ohne Wasserzufuhr an der Luft liegen. Ein anderer Sproß (*b*) taucht mit einem Gabelzweig (1) in Wasser ein, während der mit 1 im Zusammenhang bleibende Gabelzweig 2 in die Luft ragt. Nach 3 Tagen ist *a* sehr welk; Gabelzweig 2 von *b* aber noch frisch, da 1 Wasser aufgenommen hat.

d) Die Cuticula nicht völlig impermeabel für Wasser. Ein unversehrtes Blatt von Juglans regia (im Winter das Blatt einer Begonie) gelangt samt einem Uhrschälchen auf einen Teller. Auf die spaltöffnungsfreien Oberseiten der Blätter und in das Schälchen bringen wir kleine Mengen gleichmäßig durchfeuchteten Kochsalzes und bedecken den Teller mit einer Glasplatte. Nach ca. 16 Stunden ist das Kochsalz auf dem Blatt halb zerflossen (es hat Wasser aus den Zellen, welches die Cuticula passieren mußte, angezogen), das Salz in dem Schälchen aber relativ trocken.

85. Bewegungserscheinungen an Pflanzenteilen infolge von Wasseraufnahme derselben.

a) Carlina acaulis. Bei trockener Witterung ist der Blütenstand dieser Pflanze offen; die Involukralblätter sind ausgebreitet. Be-

:zt man den Blütenstand, so legen sich die inneren Involukralblätter
er den Blüten zusammen. Jedes Involukralblatt, oberseits silber-
ınzend, zeigt auf der Unterseite einen braunen Streifen. Wird letzterer
einem isolierten Blatt benetzt, so tritt sofort Bewegung des Organs
. Querschnitt des Involukralblattes: Epidermis (unterseits braun),
renchym, in welchem einige Gefäßbündel
:laufen, und das von der unterseitigen
idermis durch eine aus 3 Zelllagen be-
hende Sklerenchymschicht getrennt wird.
ese letztere vermittelt auf rein mecha-
chem Wege (starke Wasseraufnahme und
strocknen) die Bewegungen der Carlina-
.tter.

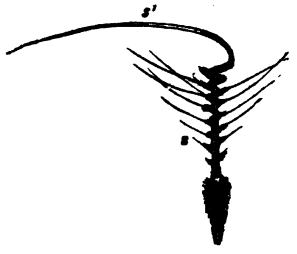


Fig. 61. Erodiumfrucht.

b) Erodium. Die Teilfrucht von Ero-
ım hat im trockenen Zustande einen unteren
wundenen (Fig. 61 *s*) und einen oberen
'aden Teil (*s'*) ihres Schnabels. Wird eine
che Teilfrucht $^1/_2$ Minute lang in Wasser gelegt und dann mit der
sis in lockeren, feuchten Sand gesteckt, der sich in einem unter einer
ısglocke stehenden Gefäß befindet, dann findet man, daß die Win-
ıgen des unteren Schnabelteils verschwinden. Er streckt sich gerade,
l wenn man der Bewegung des oberen fast horizontal gerichteten
ınabelteils ein Hindernis in Gestalt eines senkrecht gerichteten Holz-
ckchens in den Weg stellt, so wird die Frucht in den Boden ein-
ıraben.

c) Stipa pennata. Eine Frucht von Stipa wird genau in der
ılichen Weise, wie soeben angegeben worden ist, behandelt. Der im
:kenen Zustande schraubig gewundene Grannenteil streckt sich ge-
e, und die Frucht wird in den Boden eingegraben.

86. Quellung der Samen und Früchte.

a) Quellungskapazität. Die Volumenzunahme quellender Samen
:de bereits unter 63b konstatiert. Werden einige Erbsensamen und
ıizenkörner genau gewogen, 24 Stunden mit Wasser in Berührung
ıssen, abgetrocknet und gewogen, dann abermals nach je 3-stündigem
'weilen in Wasser etwa noch zweimal gewogen, so findet man Werte,
fast genau die Wassermenge angeben, welche die Untersuchungs-
ekte überhaupt aufzunehmen vermögen (Quellungskapazität). Erbsen
ımen ca. 100, Weizenkörner 40—60 Gewichtsprozent Wasser auf.

b) Der hilare Apparat der Samen. Betrachtet man einen
:kenen Phaseolussamen und orientiert denselben derartig, daß der in
m eines weißen Streifens entwickelte Nabel dem Beobachter zuge-
ıdet ist, so findet man auf der einen Seite des Streifens eine kleine
'tiefung, die Mikropyle, welche dicht über der Wurzelspitze des Em-
o liegt. Am entgegengesetzten Ende des Nabels sieht man zwei
ine, durch eine seichte Naht getrennte Wülste, die Doppeltuberkeln.
Diese, der Nabel und die Mikropyle, bilden den hilaren Apparat des
nens. Der hilare Apparat (besonders die Mikropyle) spielt bei der
ellung der in Wasser liegenden Bohnensamen, wie folgender Versuch
rt, eine besonders wichtige Rolle. Ein Phaseolussamen *a* wird völlig
Wasser eingetaucht. Einen zweiten Samen *b*, der möglichst genau
i nämliche Gewicht wie *a* besitzt, befestigt man in geeigneter Weise
einer Nadel und taucht ihn derartig in Wasser ein, daß seine Ober-

fläche mit Ausnahme des hilaren Apparates benetzt wird. Wägungen ergeben nach Verlauf einiger Stunden, daß *a* relativ viel, *b* aber nur wenig Wasser aufgenommen hat. (MATTIROLA und BUSCALIONI.)

c) Quellung der Lupinensamen. Wir stellen Querschnitte des Samens von Lupinus luteus her. Am besten benutzen wir Samen, die infolge von Wasseraufnahme bereits etwas aufgequollen sind, und untersuchen die Schnitte in Wasser und Aetzkalilösung. Die Cuticula ist ziemlich mächtig entwickelt und von einem körnigen Ueberzug (Wachsmasse) bedeckt. Unser besonderes Interesse beansprucht die Epidermis, welche aus langen, radial zur Samenoberfläche gestellten Palisadenzellen besteht. Die Wände dieser Zellen sind sehr stark verdickt. Die Palisadenzellen führen einen braunen Farbstoff, der aber nur in bestimmten Gruppen der Epidermiszellen vorhanden ist, was das gefleckte Aussehen der Samen bedingt. Unter der Epidermis beobachten wir eine einfache Lage säulenförmiger Zellen, die sehr weite Intercellularräume zwischen sich lassen und radial gegen die Samenoberfläche gerichtet sind. Es folgt nun eine in Aetzkali stark aufquellende Zellschicht, die aus mehreren Lagen tangential gestreckter Zellen besteht. An diese schließen sich die stark zusammengedrückten Reste des Endosperms an, und schließlich sehen wir noch das Gewebe der Kotyledonen.

Werden viele Lupinensamen, vielleicht 100 Stück, in Wasser geworfen, so findet man, daß nach Verlauf längerer Zeit, z. B. 24 Stunden oder gar 8 oder 14 Tagen, noch keineswegs sämtliche Individuen in den gequollenen Zustand übergegangen sind. Diese Schwerquellbarkeit, der eine erhebliche biologische Bedeutung zukommt, ist außer den Lupinensamen vielen anderen Samenspecies eigentümlich und wird in unserem Falle dadurch bedingt, daß die Zellen der noch vollkommen intakten Palisadenschicht der Samenschale infolge besonderer Eigentümlichkeiten ihrer Membranen sehr schwer permeabel für Wasser sind. Verletzt man die Palisadenschicht eines Samens von Lupinus, so quillt er stets in Kontakt mit Wasser leicht auf.

d) Quellung der Leinsamen. Die Quellung der meisten Samen wird durch den Imbibitionsprozeß, sowie durch osmotische Vorgänge vermittelt. Bei einigen Samen, z. B. denjenigen von Linum usitatissimum, wird der Verlauf der Quellung noch dadurch beschleunigt, daß dieselben in Kontakt mit Wasser einen Schleim austreten lassen, der das Wasser sehr energisch anzieht und festhält. In der Tat umgibt sich jeder Leinsame, den wir mit Wasser in Berührung bringen, sofort mit einer Schleimhülle. Wir stellen recht zarte Querschnitte aus trockenen Leinsamen her und bringen dieselben in Alkohol auf den Objektträger. Nun lassen wir, während wir beobachten, Wasser vom Deckglasrande aus zu dem Objekt treten. In dem Moment, in welchem das Wasser mit dem Schnitt in Berührung gelangt, quellen die Zellen der Epidermis der Samenschale sehr stark auf und lassen den als Verdickungsschichten der Außenwände der Epidermiszellen vorhandenen Schleim, ohne daß die Zellwände zerreißen, austreten. Die Epidermiszellen sind, wie man jetzt leicht sieht, radial gegen die Samenoberfläche gerichtet. Auf die übrigen Zellschichten der kompliziert gebauten Samenschale von Linum wollen wir hier nicht näher eingehen.

e) Weizenkörner. Wollen wir uns über den anatomischen Bau der Frucht- sowie Samenschale des Weizens orientieren, so stellen wir die erforderlichen Querschnitte nicht aus einem Korn her, das bereits völlig aufgequollen ist, denn ein solches läßt sich sehr schlecht schneiden.

Wir benutzen vielmehr Körner, die nicht zu lange mit Wasser in Kontakt gewesen sind, und behandeln die möglichst dünnen Schnitte vor der Beobachtung mit Kalilauge. Diese ruft eine starke Quellung der Gewebe hervor, wodurch die Strukturverhältnisse der Frucht- und Samenschale ziemlich deutlich werden (vergl. Fig. 62). Die Fruchtschale besteht aus der cuticularisierten Epidermis *ep*, einer Parenchymschicht *e* und einer weiteren sich an diese anschließenden Zellschicht, deren Elemente tangential gestreckt erscheinen, *chl*. Die Samenschale besteht aus mehreren Zellschichten, aber die zellige Struktur der äußeren Lage *ii* ist auf dem Querschnitt nicht gehörig zu erkennen, und dieselbe präsentiert sich der Hauptsache nach nur als braun gefärbter Streifen. Die innerste Schicht *n* der Samenschale, welche direkt unter dem erwähnten brauneu Streifen liegt, besteht aus wasserhellen Zellen. Die Samenschale umschließt das Endosperm und den Embryo. Auf diese Teile des Weizenkornes kommen wir später zurück. Es sei hier nur erwähnt, daß die unmittelbar unter der Samenschale liegende Endospermschicht (Kleberzellschicht) aus einer einfachen Lage fast quadratischer Zellen besteht, die, was freilich bei der Untersuchung mit Kalilauge behandelter Schnitte nicht zu sehen ist, Proteinkörner (keine Stärke) enthalten. Es folgen darauf die mehr oder weniger stärkereichen Gewebemassen des Endosperms.

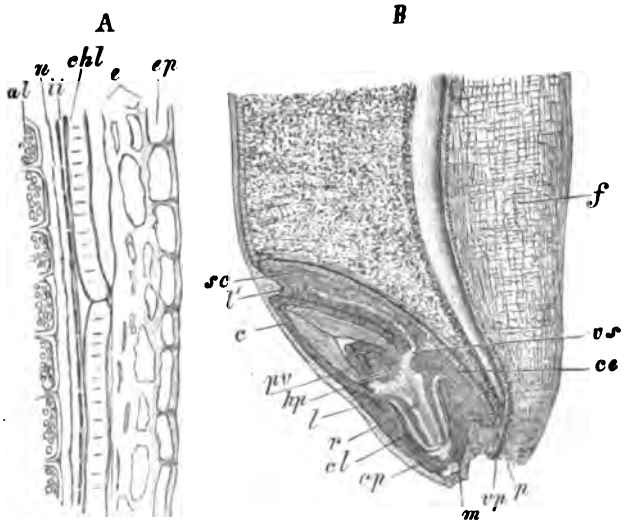


Fig. 62. Triticum vulgare. A. Querschnitt durch die Frucht- und Samenschale. An dieser *ep* die Epidermis, *e* an die Epidermis grenzende Schichten. *chl* die Chlorophyllschicht; diese alle gehören zur Fruchtwandung. *ii* die aus dem inneren Integument hervorgegangene Hülle, *n* die äußerste verdickte Schicht des Nucellus; diese zusammen bilden die Samenschale. *al* die Aleuronschicht des Endosperms. B medianer Längsschnitt durch den unteren Teil einer reifen Frucht. In dieser links unten der Keim mit dem Scutellum *sc*, *l'* der Ligula am Scutellum, *vs* seinem Gefäßbündel, *ce* seinem Cylinderepithel, *c* dem Scheidenteil des Kotyledons, *pv* dem Stammvegetationskegel, *hp* dem hypokotylen Gliede, *l* der Ligula an demselben, *r* der Radicula, *cp* der Wurzelhaube der Radicula, *cl* der Wurzelscheide; *m* Austrittsstelle der Radicula, der Mikropyle der Samenknospe entsprechend, *p* der Fruchstiel, *vp* Gefäßbündel desselben, *F* Seitenwandung der Frucht. Vergr. 14. (Nach STRASBURGER.)

87. Die Wasseraufnahme der Moose.

Die Moose besitzen keine eigentlichen Wurzeln, sondern Rhizoide Um diese Organe genauer kennen zu lernen, wählen wir Bryum caespiticium, ein Moos, das häufig auf Mauern angetroffen wird. Mit Hülfe eines Wasserstrahles wird die den Pflanzen anhaftende Erde möglichst entfernt, der untere Teil eines Stämmchens abgeschnitten, auf den Objekt-

träger gebracht und beobachtet. Es zeigt sich, daß aus dem Stämmchen lange, mehrzellige, recht breite, braun gefärbte Fäden hervorgehen, die vielfach feinere Zweige besitzen und nur an ihren Enden farblos sind. Die Scheidewände zwischen den einzelnen Zellen erscheinen schief gestellt. Den Rhizoiden, mit denen wir es hier zu tun haben, kommt vor allem die Aufgabe zu, die Moospflanze im Boden zu befestigen. Als wasseraufnehmende Organe besitzen sie, wenigstens bei vielen Moosen, eine nur untergeordnete Bedeutung.

Wird ein Rasen von Hylocomium triquetrum in feuchtem Zustande in eine flache, Wasser enthaltende Schale gestellt, so trocknen die oberen Teile der Pflanze alsbald aus. Dieser Versuch lehrt, daß im Inneren der Moospflanzen keine energische und ausreichende Wasserleitung wie im Organismus der höheren Gewächse stattfindet. Beobachtet man die im Wasser liegenden Hylocomiumrasen genauer, wenn die Enden der Pflanzen trocken sind, so findet man übrigens eine ziemlich lange, über dem Wasserspiegel liegende Partie der einzelnen Stämmchen feucht. Das Wasser wird also von den Moospflanzen bis zu einer gewissen Höhe emporgehoben, und zwar sind es Kapillarkräfte, welche dies vermitteln. Das Wasser steigt in den engen Hohlräumen, welche zwischen dem Stämmchen und den diesem dicht angeschmiegten Blättern vorhanden sind, bis zu bestimmter Höhe empor, aber es müssen natürlich alle Teile der Moospflanzeu austrocknen, welche durch diese äußere Wasserleitung nicht mehr mit Feuchtigkeit versorgt werden können. Wird ein kräftiger Zweig von Hylocomium triquetrum zwischen Fließpapier gut abgetrocknet und dann mit seiner Basis oder Spitze in die Lösung eines Anilinfarbstoffes eingetaucht (Methylanilinviolett), so beobachtet man leicht, daß die Flüssigkeit in der Tat bis zu einer gewissen Höhe kapillar emporsteigt. Werden von anhaftender Erde befreite Rasen einer Hylocomium- oder Hypnumspecies im lufttrockenen Zustande gewogen, vielleicht 10 Minuten lang unter Wasser getaucht, auf eine schräg gestellte Glasplatte gelegt, damit das überschüssige Wasser abtropft, und nun abermals gewogen, so ergibt sich, daß sie das Mehrfache ihres ursprünglichen Gewichtes an Wasser zurückzuhalten vermögen. Das Resultat dieses Experimentes ist im stande, uns eine Vorstellung davon zu geben, wie groß die Wassermengen sind, welche der Moosrasen im Walde kapillar festzuhalten vermag, und in der Tat spielen die Moose, wie hier nicht speziell auseinandergesetzt werden kann, eine wichtige Rolle als Regulatoren der Feuchtigkeitsverhältnisse vieler Gegenden.

Untersucht man Querschnitte aus dem Stämmchen von Hylocomium triquetrum, so findet man das ganze Gewebe aus Zellen zusammengesetzt, deren Wände eine gelblichbraune Farbe besitzen und stark verdickt sind. Das Lumen der peripherischen und ebenso dasjenige weniger zentral gelegener Elemente (die letzteren bilden die Andeutung eines Zentralstranges) ist viel enger als das Lumen der übrigen Zellen. Für solche Moose, welche keinen oder einen nur schwach entwickelten, bekanntlich aus sehr langgestreckten Zellen zusammengesetzten Zentralstrang besitzen, kommt wesentlich nur die äußere Wasserleitung durch Kapillarität in Betracht. Dagegen scheint ein entwickelter Zentralstrang die Möglichkeit zu einer ausgiebigeren inneren Wasserleitung zu bieten, und Versuche, welche man mit Polytrichum angestellt hat, bestätigen dies. In der Tat ist bei Polytrichum ein wohlausgebildeter Zentralstrang im Stämmchen vorhanden, wovon man sich bei mikroskopischer Untersuchung zarter Querschnitte überzeugt, und als ich einige Stämmchen

von Polytrichum formosum dicht nebeneinander mit ihrem unteren Ende in Wasser stellte, blieben auch die oberen Blätter der Pflanzen frisch. In diesem Zustande stehen die Polytrichumblätter vom Stamme ab, während sie sich beim Austrocknen demselben nach oben anlegen.

Ein besonderes Interesse beansprucht auch noch die Art und Weise, in der die Sphagnumarten Wasser von außen aufnehmen und die aufgenommene Flüssigkeit festhalten. Mit Rücksicht auf diese Verhältnisse mögen hier übrigens einige Andeutungen bezüglich des Baues der Blätter der erwähnten Pflanze genügen. Wir unterziehen Blätter von Sphagnum acutifolium der mikroskopischen Untersuchung. Die grünen, rötlichen oder intensiv rot gefärbten Rasen dieses Mooses sind leicht aufzufinden, und jedes entwickelte Blatt besteht aus chlorophyllhaltigen Zellen, die zu einem Netzwerk miteinander verbunden sind, und aus nicht mehr lebenstätigen, Wasser oder Luft enthaltenden, farblosen Zellen, welche zwischen den grünen Zellen liegen und deren ringförmig oder spiralig verdickte Membranen mit wirklichen Löchern versehen sind. In diese Löcher dringt das Wasser leicht von außen in die Zellen ein und wird von denselben festgehalten, so daß ein Sphagnumrasen schon aus diesem Grunde, ähnlich wie ein Schwamm, im stande ist, bedeutende Wassermengen festzuhalten. (Oltmanns, Dissertation, Straßburg 1887, und R. Rostock, Dissertation, Jena 1902.)

VI. Wasserbewegung in der Pflanze.

Der Wasserverbrauch der Landpflanzen wird in allererster Linie durch deren Transpirationsgröße bestimmt. Die Verdunstung kann aber unter Umständen sehr bedeutend ausfallen, und man hat z. B. berechnet, daß eine große Birke an einem heißen Tage 300—400 kg Wasser transpiriert (Höhnel). Der Wasserabgabe durch die Transpirationsorgane steht die Wasseraufnahme gegenüber. Dieselbe wird bei den Landpflanzen vor allem durch die Wurzeln vermittelt. Nachdem schon S. 91 und 92 auf die Tätigkeit der Wurzelhaare hingewiesen worden ist, soll hier nun zunächst der Wurzeldruck behandelt werden, obgleich derselbe, wie ausdrücklich betont werden muß, gerade in vielen stärker verdunstenden Pflanzen nichts oder nur wenig zur Wasserbewegung im Organismus beiträgt.

1) Wurzeldruck. Wenn Zellen sehr stark turgeszieren, so kann schließlich durch Ueberwindung des Filtrationswiderstandes des Plasmas und der Zellhaut Flüssigkeit aus den Zellen in benachbarte Gefäße oder Intercellularen hineingepreßt werden. Auf solche Art kommt der Blutungsdruck der Gewächse zu stande. Auch Parenchymzellen der Stammgebilde vermögen denselben zur Geltung zu bringen, und der Wurzeldruck ist nur eine spezielle Form, in welcher sich jener Blutungsdruck äußert.

Starke Transpiration der Pflanzen läßt infolge des durch sie herbeigeführten Wasserverbrauches die mit dem Wurzeldruck in Zusammenhang stehenden Phänomene nicht hervortreten. Ist die Transpiration aber schwach oder völlig ausgeschlossen, dann wird durch starken Turgor der Wurzelparenchymzellen Flüssigkeit in die Gefäße des Holzes gepreßt und in diesen höher und höher gehoben. Gerade die den Tracheen

der Wurzel benachbarten Parenchymzellen scheinen besonders reich an osmotisch leistungsfähigen Stoffen zu sein (STRASBURGER), so daß eben diese Zellen auch als die vor allen Dingen tätigen zu betrachten sein dürften. Der Wurzeldruck ist ein an sehr vielen (nicht an allen) Pflanzen konstatiertes Phänomen. Die Menge des infolge des Wurzeldruckes emporgepreßten und z. B. aus Wunden ausfließenden Saftes kann unter Umständen für größere Bäume (etwa Birken) pro Tag mehrere Liter betragen. Dabei können Druckwirkungen von bis 2 Atmosphären zur Geltung gebracht werden.

Höhere Temperatur und bedeutenderer Wassergehalt des Bodens steigern die Wurzeltätigkeit sowie die Menge des unter dem Einfluß derselben emporgetriebenen Saftes wesentlich. Aeltere Pflanzen zeigen aber auch eine von der direkten Wirkung äußerer Umstände unabhängige, wohl aber ursprünglich durch solche induzierte tägliche Periodizität des Saftausflusses. Vielfach zeigt dieser letztere das Maximum in den frühen Nachmittagsstunden, das Minimum aber in den Morgenstunden. (DETMER, Beiträge zur Theorie des Wurzeldrucks, 1877; WIELER in COHNS Beiträgen zur Biologie der Pflanzen, Bd. 6.)

2) Blutungsdruck von Stammgebilden. Nicht nur die Zellen der Wurzeln, sondern auch diejenigen isolierter oder mit der Wurzel noch im Zusammenhang stehender Stammgebilde können infolge starken Turgors Blutungsdruck zur Geltung bringen. MOLISCH wies nach, daß aus den verletzten Blütenständen verschiedener Palmen (Kokos, Arenga) reichlich Saft ausfließt, trotzdem keine Flüssigkeit durch Wurzeldruck in den Stamm der Bäume hineingepreßt wird. Die Tätigkeit der Zellen in den Blütenständen, welche zur Sekretion führt, kommt aber in dem hier erwähnten speziellen Falle erst zur Geltung, nachdem die Gewebe vorher mehrfach durch Verwundung oder Klopfen gereizt worden sind. (MOLISCH, Botan. Zeitung, 1902.)

3) Hydathoden. Als Hydathoden bezeichnet man nach HABERLANDT an der Oberfläche der Pflanzen gelegene Zellen oder Zellenkomplexe, aus denen unter Mitwirkung von osmotischen Druckkräften Flüssigkeitsmengen hervortreten. Manche Hydathoden (die den Spaltöffnungen sehr ähnlichen Wasserspalten) sind allein passiv bei dem Wasseraustritt beteiligt, indem sie für die durch Blutungsdruck emporgepreßte Flüssigkeit die Stellen geringsten Filtrationswiderstandes darstellen (Wasserspalten der Gräser, der Blätter von Tropaeolum etc.). Die aktiven Hydathoden (solche sind z. B. die kurzen, gekrümmten, mit großer Fußzelle und mehrzelligem, keuligem Teile versehenen Haare, welche neben langen, cylindrischen Haaren an den Blättern und jungen Stengelteilen von Phaseolus angetroffen werden) bringen den zum Hervorpressen des Saftes erforderlichen Blutungsdruck in ihren Zellen selbst hervor. (HABERLANDT, Physiologische Pflanzenanatomie, 3. Aufl., 1904.)

4) Nektarien. Die typischen Nektarien sezernieren zunächst Zucker, oder die Membranen ihrer Zellen erfahren unter Mitwirkung des lebendigen Plasmas eine Metamorphose unter Zuckerbildung. Die auf solche Art gebildete, osmotisch leistungsfähige Substanz kann nun plasmolytisch tätig sein und dem Zellinhalt Wasser entziehen, wodurch die Nektarsekretion zu stande kommt (PFEFFER).

5) Transpiration. Die Laubblätter kommen in erster Linie als Transpirationsorgane in Betracht. Freilich kann zu starke Verdunstung unter Umständen ein Welken, ja sogar den Tod der Gewächse zur Folge haben, aber die Transpiration, weit davon entfernt, ein notwendiges

ebel zu sein, ist doch im allgemeinen von hoher Bedeutung für die andpflanzen. Sie steht ja im Dienste ernährungsphysiologischer Prozesse. urch sie werden den Blättern mit dem Wasserstrome die notwendigen ineralstoffe schnell genug und in ausreichender Quantität zugeführt achs). Auch zur Verhütung zu starker Erwärmung der Pflanzenteile n direkten Sonnenlicht ist die Transpiration von Bedeutung (vergl. Jost).

Das Wassergas bildet sich hauptsächlich im Innern der Pflanze, dem die Parenchymzellen dasselbe an die Luft der Intercellularen bgeben, und die feuchte Luft dann durch die Stomata entweicht. eben dieser stomatären Transpiration spielt die cuticulare höchstens ei jungen Blättern mit noch dünner Cuticula eine etwas größere Rolle. rockenheit des Bodens, höhere Konzentration der Nährlösung, reicherer Wasserdampfgehalt der Luft deprimieren die Transpirationsgröße. n dampfgesättigter Luft verdunstet die Pflanze nur dann, wenn sie, z. B. nfolge ihrer Eigenwärme, höhere Temperatur als die Umgebung besitzt. n sehr trockener Luft, die zunächst die Verdunstung sehr erhöht, chließen sich die Stomata vielfach, so daß dieser regulatorische Akt ine Transpirationsverminderung zur Folge hat. Höhere Temperatur der Luft, Luftbewegung, Erschütterung der Pflanzen, Lichtzutritt (Wärmewirkung absorbierter Lichtstrahlen sowie Erweiterung der Stomata) wirken befördernd auf die Verdunstung der Pflanzen ein.

Die Transpirationsgröße der Pflanzen ist nun aber ferner in hervorragendem Maße durch die spezifische Natur der Gewächse selbst bestimmt, und bei dem Studium der Beziehungen, welche zwischen der Verdunstung der Pflanzen und ihrer Organisation bestehen, sind sehr interessante biologische Verhältnisse aufgedeckt worden. Die Gewächse lassen sich rücksichtlich ihrer Wasserökonomie in drei Gruppen bringen: Xerophyten, Hygrophyten, Tropophyten. (Vergl. Schimper, Pflanzengeographie, 1898.)

Die Xerophyten, an physikalisch oder physiologisch trockenen Standorten lebend, zeigen die mannigfaltigsten Einrichtungen zur Beförderung der Wasseraufnahme, Speicherung des Wassers in ihrem Gewebe und Herabsetzung der Transpirationsgröße: mächtige Entwickelung der unterirdischen Organe, tiefes Eindringen der Wurzeln in den Boden, Ausbildung des Wassergewebes, gedrungener Wuchs der Pflanzen, Hinkriechen auf dem Boden, schnelle Vollendung der individuellen Entwickelung während der feuchteren Zeit des Frühlings, Reduktion der Blattfläche, Abwerfen der Blätter zur trokenen Jahreszeit, Vertikalstellung der Blätter, Einrollung derselben, Behaarung der Blätter, dicke Cuticula ihrer Epidermis, Wachsüberzüge derselben, geschützte Lage der Spaltöffnungsapparate, Verschluß der Stomata beim Welken, Zuckergehalt der Blattzellen, Absonderung ätherischen Oeles (?), Reduktion des Intercellularsystems etc. (Drude, Schimper, Warming.)

Die Hygrophyten, an sehr feuchten Orten lebende Pflanzen, bedürfen oft gewisser Einrichtungen, um die Transpiration zu fördern, damit die Mineralstoffversorgung der Blätter keine Störung erleide. Solche Verdunstungsförderung kann erzielt werden durch Flächenvergrößerung der Spreiten, durch Entwickelung der Träufelspitzen, welche die Blattfläche nach Regen schnell trocken legen, durch Ausbildung des die Wärmestrahlen stark absorbierenden Anthocyans, durch Erhöhung der Beweglichkeit des Blattes (Zitterpappel), durch autonome Bewegungen der Blätter, durch Schlafstellung derselben, so daß die in der Nacht vertikal gestellt gewesenen und daher höchstens schwach betauten Spreiten, wenn sie bei Sonnenaufgang die Horizontalstellung annehmen, sogleich relativ

stark zu transpirieren vermögen. Hydathodentätigkeit kann im Dienste ernährungsphysiologischer Prozesse vikariierend für die Transpiration eintreten, und in der Tat sind z. B. Hydathoden an den Blättern von Vicia und Lathyrus vorhanden, während diese Organe nyktitropisch nicht reagieren. (STAHL, Botan. Zeitung, 1894 u. 1897.)

Die Tropophyten bieten bald hygrophilen, bald xerophilen Charakter dar, weil sie abwechselnd feuchtem und trockenem (kaltem) Klima ausgesetzt sind (SCHIMPER). Unsere gewöhnlichen Bäume und Sträucher müssen im Sommer stark transpirieren; während der kalten Jahreszeit würde die Belaubung sehr nachteilig wirken, da dieselbe starken Schneedruck und unter Umständen lebhaftere Transpiration herbeiführen müßte, während doch die Wurzeln dem kalten Boden nur wenig Wasser entziehen könnten. Die immergrünen Pflanzen schützen sich z. B. durch Verschluß der Stomata und Zuckeranhäufung in ihren Blätten im Winter vor ausgiebigerer Verdunstung.

6) Wasserleitung in der Pflanze. Die Wasserleitung erfolgt im Holzkörper (Splint) der Gefäßbündel. Das Wasser bewegt sich dabei mit erheblicher Geschwindigkeit (oft einige Meter pro Stunde) im Lumen (nicht in den Membranen) der trachealen Elemente (Gefäße und Tracheiden). Eventuell erfolgt die eigentliche Wasserleitung übrigens bei manchen Pflanzen nur in den Tracheiden, während die Gefäße Wassereservoire darstellen. Die große Beweglichkeit des Wassers im Holz (auch seine geringe Durchlässigkeit für Gase) und die merkwürdige Einrichtung der behöften Tüpfel sind sehr wichtig für ausgiebigen Wassertransport in den Gewächsen.

Im Organismus mancher Kryptogamen wird die Wasserbewegung allein auf osmotischem Wege vermittelt. In kleineren Phanerogamen können Wurzeldruck und Kapillarität als Ursachen der Wasserbewegung eine wichtige Rolle spielen. Dies ist aber in größeren Bäumen (die höchsten Bäume sind die Eucalypten mit 150 m Höhe) nicht der Fall. Auch die Imbibitionstheorie und die Gasdrucktheorie (nach der die JAMINschen Luftwasserketten in den trachealen Elementen durch Spannungsdifferenzen der Gase in Bewegung gesetzt werden sollten) sind heute nicht mehr aufrecht zu erhalten. Nach STRASBURGER scheint die Mitwirkung lebender Elemente des Holzes (Holzparenchym, Markstrahlen) bei der Wasserbewegung keineswegs notwendig zu sein. Die wesentlichste Ursache der Wasserströmung liegt vielmehr in der saugenden Wirkung der Transpiration (DIXON, JOLY, ASKENASY). Die erforderliche Energie liefern die Sonnenstrahlen. Indem dieselben die Verdunstung einleiten, verlieren die mit Wasser imbibierten Zellhäute der Blätter Feuchtigkeit. Die Membranen entziehen dann dem Zellinhalt Wasser, und dieser saugt dann auf osmotischem Wege Wasser an, welches in den Gefäßbündelenden (Tracheiden) vorhanden ist. Stellen wir uns nun vor, daß in dem gesamten trachealen System des Splintes einer Pflanze durch Adhäsionskräfte und Kohäsion der Flüssigkeitsteilchen untereinander vor dem Herabsinken geschützte kontinuierliche Wasserfäden oder aus verdünnter Luft sowie Wasser zusammengesetzte JAMINsche Ketten vorhanden sind, die, wenn sie einer Saugung unterliegen, infolge der tatsächlich bestehenden, sehr starken Kohäsion der Wasserteilchen nicht zerreißen, so können wir uns mit ASKENASY eine Vorstellung von den Vorgängen bei der Wasserströmung in den Gewächsen bilden. Freilich sind manche Punkte des schwierigen Problems noch nicht genügend aufgeklärt (Kritisches in PFEFFERS Handbuch, 2. Aufl., neuer-

ıgs auch in einer Arbeit von STEINBRINCK), aber die Erkenntnis ist ıwiß wichtig, daß die saugende Wirkuug der Transpiration die Wasserlen des trachealen Systems ihrer ganzen Länge nach in Beıgung setzen kann, und auf solche Art auch schließlich einen Wasserstrom aus der Wurzel bedingt. (SACHS, Vorlesungen über Pflanzenysiologie, 2. Aufl., 1887; STRASBURGER, Bau und Verrichtung der ıitungsbahnen in der Pflanze, 1891; ASKENASY, Verhandlungen des ıturhistorisch-med. Vereins zu Heidelberg, N. F. Bd. 5.)

7) Welken der Pflanzen. Wenn ein Gewächs größere Wasserıngen aufnimmt, als abgegeben werden, so kann schließlich, z. B. bei ɔrhandensein von Hydathoden, ein Hervorpressen der Flüssigkeit aus esen Organen erfolgen. Bei länger andauernder, stärkerer Transpiration ıd beschränkter Wasseraufnahme (z. B. an trockenen, heißen Tagen) ɛlken die Pflanzen dagegen. Die Turgeszenz der Zellen sinkt, die lätter hängen schlaff herab, und endlich geht der Organismus zu runde, wenn er nicht Gelegenheit findet, abermals reichlichere Wasserengen zu gewinnen.

Interessant ist, daß Sprosse krautiger Pflanzen, die man in der Luft ɔschneidet und nach kurzer Zeit mit der Basis in Wasser stellt, vielıch schnell welken, während die nämlichen Sprosse, wenn die Schnittäche beim Abschneiden unter Wasser hergestellt wird, frisch bleiben. m ersteren Falle erleiden nämlich die Wasserleitungsbahnen durch aus ɛrwundeten Zellen austretende, an der Luft koagulierende Stoffe eine Verstopfung, und der negative Gasdruck in dem trachealen System wird ıusgeglichen, wodurch der Wassertransport eine wesentliche Beeinträchtiıung erfährt. (DE VRIES, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1; HÖHNEL in HABERLANDTS wiss.-prakt. Forschungen auf d. Gebiete d. Pflanzenbaues, Bd. 2.)

88. Wurzeldruck.

a) Saftausfluß. Zur Untersuchung verwendet man sehr zweckmäßig in großen Blumentöpfen (z. B. solchen von 15—20 cm Höhe und 15—20 cm Durchmesser) aus Samen erwachsene recht kräftige Exemplare von Cucurbita Melopepo oder Helianthus annuus. Es sind eine ganze Anzahl von Kulturen anzusetzen. Die Pflanzen entwickeln sich im Freien. Die 2—$2^1/_2$ Monate alten Pflanzen dienen zum Experiment. Man durchschneidet ihren Stengel ca. 3 cm über dem Boden und befestigt auf dem Stengelstumpf mit Kautschukschlauch und Bindfaden ein gerades Glasrohr (Steigrohr) von entsprechender Weite. Das Rohr wird bis zur Marke (Fig. 63 bei *m*) mit Wasser angefüllt. Hatten die Untersuchungsobjekte vor dem Dekapitieren stark transpiriert, so wird das Wasser von dem Stammquerschnitt zunächst oft eingesogen. Um sofortigen Saftausfluß zu erhalten, müssen die Pflanzen 12 Stunden lang vor dem Dekapitieren in einem Raume verweilt haben, in welchem sie schwach verdunsten. Der Boden in den Kulturgefäßen ist überdies stark zu durchfeuchten. Stengelstumpf und Bodenoberfläche sind mit Stanniol zu bedecken. In manchen Fällen empfiehlt es sich auch, die in Fig. 64 darstellte Einrichtung zu treffen. Das mit Wasser angefüllte Glasrohr *G* hat einen lichten Durchmesser von ca. 6 mm. Der Cylinder *C* dient zum Auffangen der abfließenden Flüssigkeit. Eine $2^1/_2$ Monate alte Helianthuspflanze liefert z. B. bei 17—18° C in 24 Stunden 20 ccm Saft.

b) Druckwirkung. Zur Bestimmung der Druckgröße, welche der unter Vermittelung des Wurzeldruckes ausgepreßte Saft geltend machen

kann, dient das in Fig. 65 dargestellte, völlig mit Wasser und Quecksilber angefüllte Manometer. Weite des Glasrohres im Lichten ca. 6 mm, Länge des Schenkels *a* 10—15, des Schenkels *b* 20—30 cm. Ca. 4 Stunden nach dem Dekapitieren einer $2^1/_2$ Monate alten Helianthus-

Fig. 63. Fig. 64. Fig. 65.

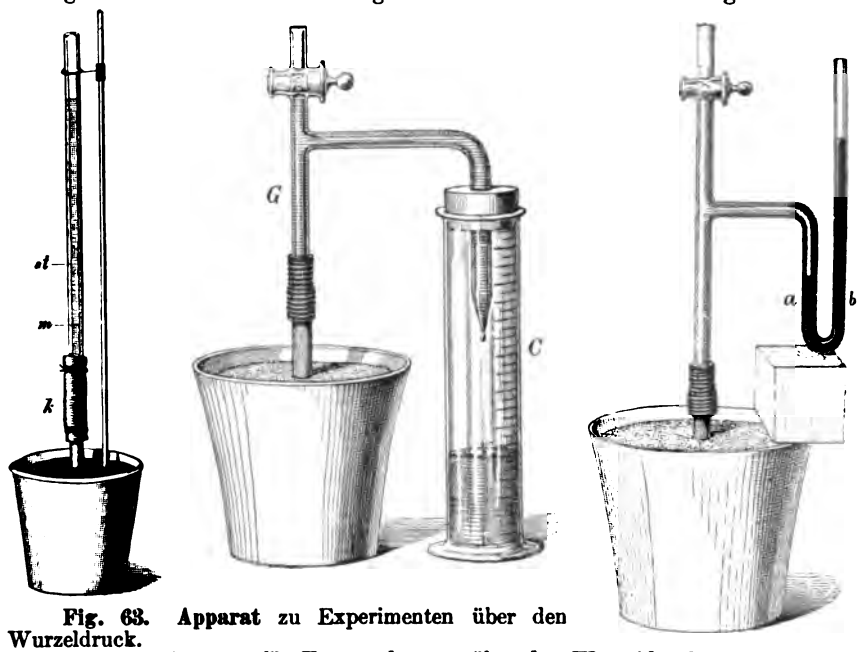


Fig. 63. Apparat zu Experimenten über den Wurzeldruck.
Fig. 64. Apparat für Untersuchungen über den Wurzeldruck.
Fig. 65. Apparat zu Experimenten über den Wurzeldruck. (Manometer völlig mit Wasser und Quecksilber angefüllt.)

pflanze kann das Quecksilber im Schenkel *b* schon 100 mm höher als in *a* stehen.

Cucurbita und Helianthus liefern tagelang Saft, wenn sie in angegebener Weise dem Experiment unterzogen werden.

c) Experimente im Winter. Im Winter ist Sanchezia nobilis (die Pflanze, zu den Acanthaceen gehörend, läßt sich leicht durch Stecklinge vermehren und muß in recht großen Blumentöpfen kultiviert werden) ein ausgezeichnetes Untersuchungsobjekt. Aus der dekapitierten Pflanze kann im Januar 14 Tage lang Saft ausgepreßt werden. Zunächst ist der Saftausfluß sehr erheblich, aber er kann nach 8-tägigem Versuch in 24 Stunden doch noch ca. 15 ccm betragen.

89. Experimente mit Freilandpflanzen.

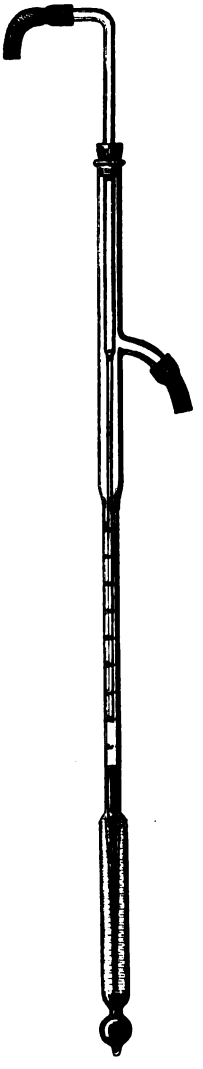
Im Juli oder August wird ein Exemplar von Helianthus tuberosus, das im freien Lande erwachsen ist, dekapitiert. Man setzt ein Steigrohr (Fig. 63) auf den Stengelstumpf oder bringt ein Manometer, wie ein solches in Fig. 41 (S. 73) abgebildet ist, mit demselben in Verbindung. Im Laufe einiger Tage kann das Quecksilber im Schenkel *G* ca. 30 cm höher als im anderen Schenkel stehen. Die Experimente sind mit Beobachtungen über die Witterungsverhältnisse (vergl. unter 69) zu verbinden.

90. Thermometer, Thermostaten und Thermoregulatoren.

Für die in den nächsten Abschnitten mitzuteilenden Experimente sowie für viele andere Untersuchungen ist es erforderlich, Räume von recht konstanter Temperatur herzustellen. Wir wollen hier die Methode und Apparate, welche dies ermöglichen, besprechen.

Thermometer in verschiedenen Größen und mit verschiedenen Teilungen sind von den unter „Bezugsquellen" genannten Firmen zu beziehen. Gebraucht man mehrere Thermometer bei einem Experiment, so sind dieselben genau zu vergleichen. Prüfung der Thermometer nimmt das unter „Bezugsquellen" genannte Institut vor.

Fig. 67.



Räume mit recht konstanter niederer Temperatur über 0° sind in tiefen Kellern, Eiskellern oder auch in nach Norden gelegenen Zimmern eines Gebäudes mit dicken Wänden gegeben. Um Räume des Laboratoriums auf möglichst konstanter höherer Temperatur zu halten, eignen sich recht gut die mit Anthracitkohle zu heizenden sog. amerikanischen Oefen.

Sehr wichtig sind ferner für viele physiologische Zwecke Thermostaten, in verschiedenen Größen und Formen von Rohrbeck und von Muencke in Berlin zu beziehen. Ein recht leistungsfähiger Apparat (Preis 20—30 M.) ist in Fig. 66 abgebildet. Dieser Thermostat, doppeltwandig, mit Wasserstandsrohr und Wasserabflußhahn, auf einem Dreifuß stehend, mit Glasdeckel, den man auch durch eine Glasglocke ersetzen kann, und vollständiger Filzbekleidung, ist am besten mit Ventilationsvorrichtung versehen anzuschaffen. Gasbrenner, z. B. die zweckmäßigen Mikrobrenner behufs Herstellung sehr kleiner Flamme, und Thermoregulatoren sind ebenfalls von Rohrbeck zu beziehen. Sehr gute Regulatoren mit Quecksilber und Amylalkohol liefert Haak in Jena (Fig. 67). Der Regulator findet im Wasserraum des Thermostaten Platz. Beim Gebrauch der Thermostaten müssen die Apparate, bevor die Pflanzen in dieselben gelangen, auf die gewünschte konstante Temperatur gebracht werden. Die Wirksamkeit der Regulatoren ist bekannt, und bedarf es hier keiner Erörterung über dieselbe. Die Thermostaten stellt man natürlich in solchen Räumen auf, deren Temperaturen schon an und für sich möglichst geringen Schwankungen unterliegen.

Fig. 66.

Fig. 66. Thermostat mit Thermoregulator.
Fig. 67. Thermoregulator.

Wenn es bei physiologischen Untersuchungen nur darauf ankommt, die Temperaturverhältnisse annähernd konstant zu erhalten, so ist auch der folgende Apparat bequem zu verwenden, der ebenfalls bei Mangel eines Gewächshauses gute Dienste leistet, wenn es sich darum handelt, im Winter, zumal bei kalter Witterung, Keimpflanzen etc. schnell zur Entwickelung zu bringen. Der auf einem festen Gestell ruhende Thermostat stellt einen großen, aus starkem Zinkblech gefertigten Kasten mit doppelten Wänden dar. Die Höhe des Kastens beträgt etwa 60 cm, ebenso seine Breite und Tiefe. Der Zwischenraum zwischen den doppelten Wänden des Apparates kann 3—4 cm weit sein. Er wird mit Wasser angefüllt, das man durch eine Oeffnung am oberen Teile des Kastens eintreten läßt, während sich am unteren Teile desselben ein Hahn zum eventuell erforderlichen Abfluß des Wassers befindet. Die doppeltwandige Decke des Kastens ist noch mit einer zur Aufnahme eines Thermometers dienenden Oeffnung versehen. Die vordere Wand des Kastens wird, wie noch bemerkt werden muß, von einer Doppeltür gebildet. Die Heizung des Apparates geschieht mittelst einer unter demselben angebrachten Gasflamme.

91. Beeinflussung durch äußere Umstände.

a) Temperatur. Die Quantität des durch Wurzeldruck ausgepreßten Saftes kann man bequem und recht genau ermitteln, wenn man die Steigröhre bis zur Marke *m* (Fig. 63) mit Wasser anfüllt, z. B. nach 1 oder 2 Stunden die Höhe der Wassersäule über der Marke mit Millimeterstab mißt, das Wasser bis zur Marke mit einer dünnen Glasröhre abhebt und nach 1 oder 2 Stunden etc. die Beobachtungen wiederholt. Zur Feststellung des Temperatureinflusses auf den Wurzeldruck werden 2 Monate alte Cucurbita- oder Helianthuspflanzen dekapitiert und mit Steigrohr versehen. Im Boden der Töpfe stecken Thermometer. Man stellt die Pflanzen unter Zinkblechrezipienten in einem nach Norden gelegenen Zimmer oder im Keller auf. Temperatur ca. 15° C. Wir ermitteln die Ausflußmenge am 2. Versuchstage z. B. für die Zeit von 8 bis 10, 10—12 und 12—2 Uhr. Nun gelangen die Pflanzen in einen Thermostaten oder ins Warmhaus (21—25° C). Am nächsten Tage finden wir die Ausflußmenge zu den angegebenen Zeiten erheblich größer als an dem vorhergehenden Tage, z. B. Saftausfluß am 2. Versuchstage bei Helianthus von 12—2 Uhr 29 mm (14° C), am Tage darauf von 12 bis 2 Uhr 50 mm (21—22° C).

b) Wassergehalt des Bodens. Es läßt sich auch konstatieren, daß Pflanzen, die bei konstanter Temperatur verweilen, relativ wenig Saft liefern, wenn der Boden, in welchem sie wurzeln, zunächst trocken ist, während stärkeres Begießen der Erde die Menge des austretenden Saftes steigert.

Experiment mit Urtica macrophylla. Die Pflanze kann durch Stecklinge vermehrt werden. Dekapitiert und Steigrohr angebracht am 16. Dezember. Boden ziemlich trocken. Saftausfluß vom 17.—18. Dezember (24 Stunden) bei ca. 16° C 25 mm. Boden nun stark begossen. Saftausfluß in 20 Stunden bei ca. 13° 50 mm.

92. Experimente mit Birken.

Am Stamm einer Birke von ca. 50 cm Umfang bringt man im März ca. 40 cm über der Bodenoberfläche mittelst eines Bohrers ein bis zur Mitte des Stammes reichendes Bohrloch von ca. 7 mm Weite an.

ut gereinigte Bohrloch kittet man mit Siegellack das Ende des henkels einer rechtwinkelig gebogenen Glasröhre luftdicht ein. ikal gerichtete Schenkel des Rohres ragt in eine Glasflasche deren Mündung man nicht absolut luftdicht verschließt. Der uß ist Ende März oder Anfang April recht erheblich (z. B. über Tag). Es fließt aber nur nachts und vormittags Saft aus; ags nicht. Wenn die Blätter des Baumes sich entfaltet haben, Saftausfluß infolge Wasserverbrauches durch die Transpiration if; jetzt kann sogar ein Aufsaugen von Flüssigkeit erfolgen, n das freie Ende des im rechten Winkel gebogenen Glasrohres er taucht. Die Resultate der mehrere Wochen hindurch fort- Beobachtungen sind übersichtlich in Verbindung mit Notizen ttemperatur, Regenfall, Bewölkungsverhältnisse des Himmels zuustellen. Wird Birkensaft erhitzt, so scheidet sich koagulierendes ab. Der Saft enthält auch Rohrzucker, und wenn man ca. desselben $^1/_2$ Stunde nach Zusatz einiger Tropfen SO_3 kocht, die Flüssigkeit reduzierend auf Fehlingsche Lösung ein.

93. Periodizität des Wurzeldruckes.

in einem großen, 20 cm hohen und oben 22 cm Durchmesser Blumentopf im Freien kultiviertes, 2 Monate altes Individuum anthus annuus dient zum Versuch. Wir verwenden die unter 88 ne Methode (vergl. Fig. 63). Die Werte, welche man bei Be- der Steighöhe des Saftes im geraden Glasrohre gewinnt, unter Berücksichtigung der Querschnittsfläche desselben leicht centimeter umgerechnet werden. Nach jeder Ablesung ist natür- Flüssigkeit bis zu einer am unteren Ende des Steigrohres z. B. einer Feile angebrachten Marke mit einem Glasrohr zu entfernen. inn des Experimentes verweilt die stark begossene Pflanze eit im Versuchsraum, am besten einem nach Norden gelegenen Nach dem Dekapitieren und Aufsetzen des Steigrohres findet rsuchungsobjekt unter einem großen Zinkblechrezipienten Platz. ize kann auch im Thermostaten aufgestellt werden.

izr gelangte in meinem Praktikum unter Verwendung einer ca. alten Pflanze von Helianthus annuus zu folgenden Resultaten. rchmesser 12 mm. Weite des Steigrohres 6 mm.

Zeit	Temperatur des Bodens in °C	Gesamtausfluß in mm	Ausfluß pro Stunde in mm
/6. $8^1/_4$ a. m.	17,0		
12 m.	17,2	74	19,4
2 p. m.	17,5	35	17,5
8 „ „	18,0	70	11,7
$11^1/_4$ p. m.	17,5	28	8,6
/6. 7 a. m.	17,0	58	7,45
9 „ „	17,0	23	11,5
11 „ „	17,2	29	14,5
1 p. m.	17,5	30,5	**15,2**
3 „ „	18,0	30	15,0
5 „ „	18,0	27	13,5
7 „ „	18,2	23	11,5
$8^1/_2$ p. m.	18,2	16	10,6
/6. 9 a. m.	18,2	100	8,0
12 m.	18,2	41	13,7
2 p. m.	18,5	29	**14,5**
4 „ „	18,5	28	14,0
6 „ „	18,5	25	12,5
8 „ „	18,5	21	10,5

94. Die Ursachen des Wurzeldruckes und verwandter Erscheinungen.

Ein Glasrohr von etwa 80 mm Länge und 40 mm Weite (vergl. Fig. 68) wird an einem Ende mit einer gut ausgewaschenen Schweinsblase verbunden, darauf mit konzentrierter Rohrzuckerlösung völlig angefüllt und das obere Ende der Röhre mit vegetabilischem Pergament verschlossen. Das Glasrohr ist durch die weite Bohrung eines großen Korkes (*K*) zu schieben, so daß dasselbe, wenn der Kork auf ein Glas (*Gl*) gesetzt wird, welches destilliertes Wasser enthält, mit dem unteren Ende in diese Flüssigkeit eintaucht. Ueber den oberen, mit Pergamentpapier verschlossenen Teil des Glasrohres wird eine in ein Kautschukrohr auslaufende Kautschukkappe (*Kk*) gebunden und ein gebogenes Glasrohr (*Gr*) in das Kautschukrohr eingeführt. Ist der Apparat zusammengestellt, so beginnt derselbe seine Tätigkeit alsbald. Es dringt auf osmotischem Wege Wasser in das am oberen sowie unteren Ende mit einer Membran verschlossene Glasrohr (künstliche Zelle) ein, in demselben kommen, da mehr Wasser ein- als Zuckerlösung austritt, Druckverhältnisse zur Geltung, die nach einiger Zeit im stande sind, den Filtrationswiderstand des Pergamentpapieres zu überwinden. Ist dies der Fall, so wird Flüssigkeit in das Glasrohr *Gr* gepreßt, und sie kann in dem Gefäß *F* gesammelt werden. Freilich sind die Vorgänge, welche sich bei dem Zustandekommen des Wurzeldruckes und verwandter Erscheinungen in der Pflanze geltend machen, weit komplizierter als diejenigen, von denen im Vorstehenden die Rede war, und es ist namentlich zu betonen, daß in der Pflanzenzelle das Protoplasma (zumal die Hautschicht desselben) eine wichtige Rolle spielt, wenn in den Gewächsen durch osmotische Vorgänge Druckwirkungen zu stande kommen; aber immerhin ist das erwähnte Experiment doch von erheblichem pflanzenphysiologischen Interesse. In den Zellen des Parenchyms der Wurzeln kommen infolge der osmotischen Leistungsfähigkeit des Zellinhaltes Druckkräfte zur Geltung. Die stark turgeszierenden Zellen pressen schließlich einen Teil ihres Inhaltes aus; dieser tritt in die Holzelemente ein und wird in denselben emporgetrieben.

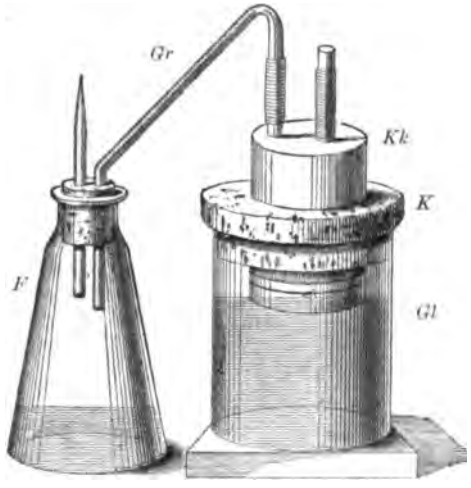


Fig. 68. Apparat zur Veranschaulichung derjenigen Vorgänge, welche sich beim Zustandekommen des Wurzeldruckes geltend machen.

95. Blutungsdruck von Stammgebilden.

a) Experimente mit Halmstücken. Zum Versuch dienen 10 cm lange Stengelstücke, die man aus kräftigen, im Freien zur Entwickelung gelangten Maispflanzen herausschneidet. Die obere Schnittfläche liegt wenige Millimeter über einem Knoten. Man stellt die Halmstücke in Wasser; die obere Schnittfläche ragt aus der Flüssigkeit hervor. Man bedeckt mit einer Glasglocke. Alsbald tritt Saft aus dem Pflanzen-

vor. Trocknet man die Schnittfläche mit Fließpapier ab, so wird
turzer Zeit wieder feucht.

Flüssigkeitsaustritt aus Aststücken durch Wärmeng. 30 cm lange und 4 cm dicke Aststücke von Pavia, der oder Ulme werden im Winter bei feuchter Witterung abgen und 24 Stunden lang in Wasser von 2° C gelegt, nachdem ı ihren Enden recht glatte Schnittflächen hergestellt hat. Nun man die Aststücke in Wasser von 30° C. Nur eine Schnittragt eben aus der Flüssigkeit hervor. Auf dieser Schnittfläche : sich alsbald Wasser an. Taucht man die Untersuchungsobjekte in kaltes Wasser ein, so wird das ausgeschiedene Wasser von ufgesogen. Im Experiment ist kein Blutungsdruck wirksam; der austritt ist Folge der Ausdehnung, welche die in den Pflanzen·orhandene Luft durch Erwärmung erfährt.

96. Hydathoden.

Wasserspalten. In kleinen Blumentöpfen im Dunkeln kulti-Weizenkeimlinge mit ca. 2 cm langer Plumula dienen zum Ver-Der Topf steht in einer Wasser enthaltenden Kristallisierschale iner Glasglocke, deren Innenwand mit feuchtem Fließpapier aus-ɔt worden ist. Es treten alsbald unter ıfluß des in den Pflanzen tätigen Blutungs- Flüssigkeitströpfchen aus den Wasser- an der Spitze der Plumula hervor. nan diese Tropfen mit Fließpapier ab, len sie durch neue ersetzt.

. 69. **Apparat** zum Nachweis des Einflusses :kkräften auf den Wasseraustritt aus Pflanzen-

ɔpaeolumpflanzen, die man im Thermo- ı dampfgesättigter Luft unter einer Glas- ɔei 25° C hält, lassen an den Blatträndern :vortreten von Flüssigkeitstropfen beob-

Künstlicher Druck. In dem kür-:henkel des gebogenen Glasrohres (Fig. 69) 10 mm Weite (der längere Schenkel mißt ' cm) befestigen wir mittelst eines Kautılauches einen Sproß von Impatiens na. Die Schnittfläche des Stengels taucht Vasser ein, mit welchem das Rohr gefüllt r stellen die Vorrichtung in einen Glas-, dessen Oeffnung so weit wie möglich er Glasplatte verschlossen wird. Gießt ıecksilber in den längeren Schenkel des so treten bei einem Ueberdruck von cm in wenigen Minuten Wassertropfen an den Zähnen der Blattles Sprosses hervor. Die Wirkung des Blutungsdruckes ist im ıent durch diejenige künstlichen Druckes ersetzt.

Aktive Hydathoden. Phaseoluspflanzen, die das erste drei-Blatt ausgebildet haben, dienen zu den Beobachtungen. Blattnitte und Querschnitte der ganz jungen Stengelteile werden unterm die Hydathoden (vergl. S. 100), die neben cylindrischen Haaren en sind, zu sehen.

Eine eingewurzelte und eine abgeschnittene, mit der Stengelbasis in Wasser gestellte Phaseoluspflanze (das erste dreizähnige Blatt ist entwickelt) werden unter eine innen mit feuchtem Fließpapier ausgekleidete Glasglocke gestellt. Bei beiden Objekten scheiden die Hydathoden der Blattspreiten und Blattstiele alsbald Flüssigkeit aus. Wenn man die Blättchen einer Bohne mittelst eines Pinsels mit 0,1-proz. alkoholischer Sublimatlösung bestreicht, so wird kein Wasser mehr sezerniert, da die Hydathoden getötet sind.

97. Nektarien.

Mehrere Perigonblätter der Blüten von Fritillaria imperialis dienen zum Versuch. Wir spülen die großen Nektarien am Grunde der Blätter sorgfältig mit reinem Wasser aus und trocknen sie mit Fließpapier ab. Nun gelangen die Blütenteile, nachdem wir in einige Nektarien angefeuchtete Zuckerkörnchen gebracht haben, unter eine Glasglocke. Diese Nektarien füllen sich alsbald wieder mit Saft, die nicht mit Zucker versorgten bleiben trocken. Was im Experiment der Zucker leistet, das vermag unter natürlichen Verhältnissen jener Zucker zu vollziehen, der durch Metamorphose der Substanz der äußeren Epidermismembranen der Nektarien hervorgeht. Druckkräfte sind bei der Sekretion in keinem Falle beteiligt; sie ist Folge plasmolytischer Saugung.

Das Wesen der letzteren demonstriert der folgende Versuch. In ein kleines Grübchen, welches an der Oberfläche einer dicken Runkelscheibe angebracht worden ist, bringen wir, ebenso wie auf ein Uhrschälchen, zwei Messerspitzen voll gepulverten Rohrzuckers. Rübenscheibe (*a*) und Uhrschälchen (*b*) gelangen unter eine Glasglocke. Nach einer Stunde *b* wenig feucht, *a* Zuckerlösung angesammelt, da der Zucker osmotisch Wasser aus den Zellen der Rübe aufgenommen hat.

98. Methoden zur Bestimmung der Transpirationsgröße der Pflanzen.

a) Maßcylinder. In einen großen Maßcylinder stellt man einen ca. 1 m langen Lindenzweig, füllt bis zur Marke (500 ccm) Wasser in den Cylinder, bedeckt das Wasser mit einer 1 cm hohen Olivenölschicht und setzt den Apparat im Freien der Sonne aus. Es sind Beobachtungen über den Temperaturzustand der Luft, Bewölkungsverhältnisse etc. anzustellen. Nach je 2 oder 3 Stunden wird der Apparat gewogen (vergl. unter d), oder man liest, wenn es sich nur um annähernd genaue Bestimmung der Transpirationsgröße handelt, den Wasserstand ab. Verdunstungsgröße z. B. im Juli von 12 Uhr mittags bis 3 Uhr nachmittags 105 ccm, von 8 bis 10 Uhr abends 5 ccm Wasser. Uebrigens ist es ja leicht, die Veränderung des Wasserstandes im Cylinder, soweit dieselbe nur durch Temperaturverhältnisse herbeigeführt wird, zu ermitteln und in Rechnung zu ziehen.

Fig. 70. Apparat zu Transpirationsversuchen.

b) Experiment mit Phaseolus. Ein 11 cm hoher, 8 cm weiter Glascylinder wird mit wohl durchfeuchteter Gartenerde angefüllt, und in diese ein Phaseolussame eingelegt. Hat die junge Pflanze ihre Primordialblätter völlig entfaltet, so legt man eine halbierte Glasplatte

auf den abgeschliffenen und mit Fett bestrichenen Rand des Gefäßes. Die Glasplatte ist mit 3 Oeffnungen versehen. Die mittlere dient zur Aufnahme des Stengels der Bohnenpflanze und wird nötigenfalls noch mit Watte verstopft. Die eine der beiden seitlichen Oeffnungen nimmt das Thermometer *T* auf, während man die andere mit einem Kork verschließt. Man bestimmt das Gewicht des ganzen Apparates; die Wägung wird nach längerer oder kürzerer Zeit wiederholt. Gewichtsverlust in 24 Stunden (Transpirationsgröße) z. B. 4,6 g (vergl. Fig. 70).

c) Experimente mit Ficus. Die Außenfläche eines Blumentopfes, in welchem sich ein kräftiges Exemplar von Ficus elastica entwickelt hat, wird völlig mit Stanniol umwickelt. Ebenso bedecken wir die Bodenoberfläche mit Stanniol. Wiederholte Wägungen lassen die Transpirationsgröße ermitteln. So verlor eine Ficuspflanze mit 7 Blättern in $17^1/_2$ Stunden bei diffusem Licht im Zimmer 11 g, dann aber im Freien in direktem Sonnenlicht in 2 Stunden ebenfalls 11 g. Ein Blumentopf ohne Pflanze, der mit feuchter Erde angefüllt und in Stanniol eingewickelt war, gab während der ganzen Versuchsdauer nur 4 g Wasser ab. Mit Hülfe der angegebenen Methode läßt sich auch zeigen, daß Kakteen, z. B. Cereus, selbst im direkten Sonnenlicht sehr schwach transpirieren.

d) Methode der Wägung. Gläser von 20 cm Höhe und ca. 50 mm Weite (resp. größere oder kleinere Gefäße) werden zu $^2/_3$ mit Brunnenwasser angefüllt. Die abgeschnittenen Sprosse (z. B. $^1/_2$ m lange) werden mit der Basis in das Wasser gestellt und dieses, um die Verdunstung von seiner Oberfläche auszuschließen, mit einer 1 cm hohen Olivenölschicht bedeckt (vergl. Fig. 71). Wiederholte Wägungen mittelst einer oberschaligen Wage (Transpirationswage, vergl. „Bezugsquellen") ergeben die Transpirationsverluste. Im Sommer experimentieren wir mit Sprossen von Salix fragilis, Tilia (Wasserabgabe eines Zweiges mit ca. 40 Blättern im direkten Sonnenlicht in einer Stunde 15 g), Helianthus, Eucalyptus globulus (letzterer 7 g Wasserabgabe pro Stunde unter gar nicht günstigen Bedingungen seitens eines jungen Zweiges mit 20 Blättern); im Winter mit großen Taxussprossen (48 cm langer Sproß in 5 Stunden $2^3/_4$ g Verdunstung), Sprossen von Rhododendron ponticum, Oleander oder mit im Gewächshaus kultivierten und abgeschnittenen Bohnenpflanzen (Phaseolus). Es sind stets Notizen über Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Beleuchtungsverhältnisse zu machen. Die Sprosse haben am besten 12 Stunden lang, bevor der Versuch beginnt, im Versuchsraum (mit der Basis in Wasser eintauchend) verweilt.

Fig. 71. Wage für Transpirationsversuche.

e) Kondensation transpirierten Wassergases. Taxussproß in Wasser; auf dieses Oelschicht (*a*). Glas mit Wasser und Oelschicht (*b*). *a* und *b* unter Glasglocken der Sonne ausgesetzt. Nach 1 bis 2 Stunden Glocke, unter der *a* verweilt, innen beschlagen. Glocke, unter der *b* sich befindet, nicht beschlagen.

f) Korkgewebe vermindert die Verdunstung bedeutend. Eine unversehrte Kartoffelknolle (*a*) und eine fein geschälte Knolle (*b*) werden gewogen. Beide haben nahezu gleiches Gewicht. Nach 24 Stunden abermalige Wägung. Wasserverlust von *a* gering, von *b* bedeutend.

g) Verdunstung von Blattflächen und freien Wasserflächen. 4 Epheublätter werden abgeschnitten, sofort in Wasser gestellt, das sich in einem kleinen Glas befindet, und auf das Wasser wird eine Oelschicht gebracht. Um die Gesamtoberfläche der Blätter zu ermitteln, zeichnet man den Umriß der Blätter mittelst eines spitzen Bleistiftes auf gutes, gleichmäßig dickes Schreibpapier auf. Die Spreiten der Blätter ruhen auf dem auf einer Pappunterlage liegenden Papier und sind unverrückbar mit Stecknadeln befestigt. Man schneidet die Zeichnungen aus, wägt das Papier und bestimmt ebenso das Gewicht eines Papierstückes gleicher Qualität von 200 qcm Fläche. Nun kann man leicht die Blattflächen (Ober- und Unterseite) berechnen, z. B. 4 Blätter 400 qcm. Der Verdunstungsverlust, durch Wägen zu ermitteln, beträgt in 48 Stunden z. B. 4 g. Eine freie Wasserfläche von der nämlichen Größe (Brunnenwasser in einer Kristallisierschale) verdunstet in gleicher Zeit und unter gleichen Bedingungen ca. 30mal mehr Wasser als die Blätter (Winterversuch). Im Sommer kann man z. B. mit einem Aristolochiablatt experimentieren. Ein solches Blatt verdunstet in 24 Stunden bei ca. 20° C 2 g Wasser.

Fig. 72. Apparat zur Messung der Wasseraufnahme transpirierender Pflanzen.

h) Ermittelung geringer Transpirationsverluste. Der Apparat Fig. 72, welcher demjenigen von Kohl (Transpiration der Pflanzen, Braunschweig, 1886) ähnelt, gestattet es, sehr kleine Transpirationsverluste zu konstatieren. Auf dem Ring des Stativs *St* ruht eine in ihrer Mitte mit einer Oeffnung versehene flache Porzellanschale *P*. Die mit dem Thermometer *T* beschickte Glasglocke *G* (30 cm hoch und 15 cm Durchmesser) bedeckt den oberen Teil des Untersuchungsobjektes. In dem Kork *K* der mit Wasser angefüllten U-Röhre *U* steckt das Thermometer *T'* und die Basis des Sprosses. In der Oeffnung von *P* wird der Pflanzenteil mit Watte befestigt. In die Bohrung des Korkes *K'* wird der eine Schenkel des Glasrohres *Gl* (2 mm Durchmesser im Lichten) eingeführt. Neben dem horizontalen Schenkel

uht ein Millimetermaßstab. *U* und *Gl* sind völlig mit Wasser
. Wenn die Pflanze transpiriert, zieht sich der Wasserfaden
rück. (Kritisches vergl. in meinem Praktikum, 2. Aufl., 1895,
nte vergl. unter 102.)

obaltprobe. Die Kobaltprobe (STAHL) kann bei Ausführung zahl-
'ersuche über die Transpiration treffliche Dienste leisten und auch
ßig benutzt werden, um zu zeigen, daß die cuticulare Transpiration
ıtären gegenüber ungemein in den Hintergrund tritt. Schwedisches
ıpier wird mit einer 4—5-proz. wäßrigen Lösung von Kobalt-
nprägniert. Man trocknet die Papier-
ın der Luft. Wir legen ein Stück
einer Spiritus- oder Gasflamme noch
ɜtrockneten und dann intensiv blau
ınden Kobaltpapieres auf eine etwas
nte, völlig trockene Glasplatte. Auf
ier bringen wie die Spreite eines
ɜo daß der Blattstiel über das Papier
ɣt, und be-
lie Spreite
m zweiten
sgetrockne-
ıltpapieres
einer zwei-
gewärmten,
ıen Glas-
iese letztere
urch Auf-
eines Ge-
etwas be-
ɨ werden.
er bis eini-
ıten finden
ɜ. bei Ex-
ɜn mit Cy-
ättern, daß
mit der
ıngsreichen
eite des
ı Berührung
Kobalt-
ine Rötung
hat. Jenes
gegen, wel-
h mit der
ungsfreien
ı des Blattes
kt befand, ist blau geblieben. Die Spaltöffnungen sind die Aus-
en für das bei der Transpiration gebildete Wassergas.

Fig. 74.

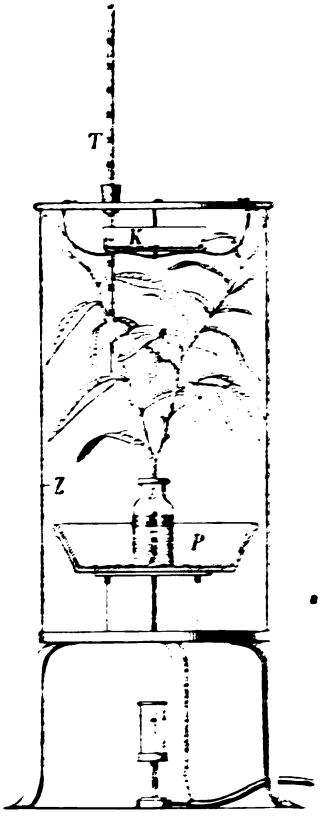


Fig. 73.

Fig. 73. Apparat zur Bestimmung der Wasseraufnahme und Wasserabgabe transpirierender Pflanzen. (Nach PFEFFER.)

Fig. 74. Apparat für Transpirationsversuche. Der Zinkcylinder *Z* ist durchsichtig gedacht.

Apparat zur Bestimmung der Wasseraufnahme und
abgabe transpirierender Pflanzen. In die obere Oeff-
ı mit Wasser angefüllten Gefäßes *C* vergl. Fig. 73 , das z. B.
ıe von 25 cm und einen Durchmesser von etwa 6 cm haben
das Untersuchungsobjekt (abgeschnittene Sprosse oder bewurzelte

Pflanzen) wasserdicht eingesetzt. Den dichten Verschluß erzielt man durch Benutzung eines mit einer Bohrung zur Aufnahme der Sprosse versehenen Kautschukkorkes oder dadurch, daß man die bewurzelten Pflanzen mit Hülfe eines halbierten Korkes einsetzt und die Fugen mit einer Kittmasse (durch Zusammenschmelzen von 1 Teil Wachs und 1 Teil Schweinefett hergestelltes Gemisch) verstreicht. In den zweiten Tubulus des Gefäßes *C* ist das etwa 15 mm weite, mit Wasser angefüllte und graduierte Glasrohr *R* eingesetzt. Das Wasser in *R* bedeckt man mit dünner Oelschicht. Zweckmäßig ist es, die Temperatur des Wassers im Apparat durch ein Thermometer bestimmen zu können. Wiederholte Wägungen ergeben den Transpirationsverlust. Die Wasseraufnahme des Pflanzenteiles stellt man durch Ablesungen am Rohr *R* fest. Bei Temperaturschwankungen ist natürlich die übrigens geringe Volumenänderung des Wassers, die man leicht ermitteln kann, zu berücksichtigen. Ein großer, bei warmer, trockener Witterung abgeschnittener und in den Apparat eingeführter Weidenzweig kann zunächst, z. B. in 40 Minuten, mehr Wasser aufnehmen als abgeben. Temperatur ca. 20° C; diffuses Licht.

l) Bestimmung des Einflusses äußerer Verhältnisse auf die Verdunstung. Für manche Versuche über Transpiration (Temperatureinfluß, Wirkung des Wasserdampfgehaltes der Luft) eignet sich der folgende Apparat sehr gut (Fig. 74). Auf einem Dreifuß steht der 40 cm hohe und 24 cm Durchmesser haltende Zinkblechcylinder *Z*. Im Cylinder ruht auf einem kleinen Dreifuß die Porzellanschale *P*, während die Kristallisierschale *K* auf einem Drahtgestell Platz findet, das an der Unterseite des den Cylinder verschließenden Holzdeckels befestigt ist. Das Thermometer *T* dient zur Bestimmung der Temperatur der Luft im Apparat. Man experimentiert zweckmäßig mit Zweigen von Salix fragilis, die auch im Dunkeln noch recht lebhaft transpirieren, da ihre Stomata sich bei Lichtmangel nicht schließen. Die Zweigbasis taucht in Wasser ein, dessen Oberfläche mit einer Oelschicht bedeckt ist. Die Luft im Apparat kann leicht auf verschiedene Temperatur gebracht werden. Den Feuchtigkeitsgehalt der Luft kann man beeinflussen, indem man in *K* und *P* Wasser oder Chlorcalcium bringt. (Experimente mit diesem Apparat vergl. unter 102.)

99. Anwendung der Kobaltprobe.

Wir experimentieren stets nach der unter 98 i angegebenen Methode. In der folgenden Uebersicht ist unter I der Name der benutzten Pflanze angegeben; unter II ist notiert, welcher Behandlung die Pflanzenteile auszusetzen sind, bevor sie der Kobaltprobe unterworfen werden; unter III ist das Resultat verzeichnet (a Kobaltpapier, das sich mit der Blattunterseite, b jenes, welches sich mit der Blattoberseite in Berührung befand).

I	II	III
Cyclamen	Pflanze 24 Std. unter Glocke	a rot, b blau
„	Isoliertes Blatt 24 Std. gewelkt	a blau, b blau
Phaseolus multiflorus	Pflanze hell beleuchtet, unter Glocke	a rot, b blau
„ „	Isoliertes Primordialblatt einige Stunden gewelkt	a blau, b blau
Aspidistra	Pflanze schlecht beleuchtet, Ende eines isolierten Blattes untersuchen	a blau, b blau
„	Das Blatt mit Stiel in Wasser und 2 Std. direkte Sonne	a rot, b blau

I	II	III
Tilia grandifolia	Zweig in Wasser, diffuses Licht nach 2 Std.	a blau, b blau
„ „	Gleicher Zweig, 2 Std. direkte Sonne	a rot, b blau
„ „	Gleicher Zweig, 2 Std. diffuses Licht	a blau, b blau
Syringa vulgaris	Zweig 4 Std. in Wasser, diffuses Licht	a rot, b blau
„ „	Zweig ohne Wasser, nach 4 Std.	a blau, b blau
Salix fragilis	Zweig 4 Std. in Wasser, diffuses Licht	a rot, b blau
„ „	Zweig ohne Wasser, nach 4 Std.	a rot, b blau
Spiraea aruncus	Sproß 2 Std. unter Glocke, diffuses Licht	a rot, b blau
Betula alba	ebenso	a rot, b blau
Aristolochia Sipho	ebenso	a rot, b blau
Sambucus nigra	Zweig 1 Std. unter Glocke in Wasser, diffuses Licht	a rot, b blau
„ „	Blatt 1 Std. gewelkt	a blau, b blau
Avena sativa	Frisches Blatt	a rot, b rot
Zea Mays	„ „	a rot, b rot
Helianthus annuus	„ „	a rot, b rot

Die Versuche mit Cyclamen, Aspidistra, Phaseolus kann man zu jeder Jahreszeit anstellen. Avena, Zea und Helianthus haben Stomata auf der Blattober- und -unterseite. Welken führt Spaltöffnungsverschluß herbei; bei Salix tritt solcher Verschluß schwer ein. Unter dem Einfluß direkten Sonnenlichtes öffnen sich die Stomata weit, und die Transpiration wird infolgedessen sehr lebhaft.

100. Experimente mit Tilia und Salix.

a) Tilia und Salix in Wasser eintauchend. Zweig von Tilia grandifolia mit ca. 40 Blättern *a* und großen Zweig von Salix fragilis *b* in Wasser stellen. Gleichheit auf das Wasser. Manometer vergl. unter 66 i. Diffuses Licht. Nach 24 Stunden Transpirationsverlust von *a* z. B. 10, von *b* 25 g. Die Kobaltprobe ergibt, daß die Stomata von *a* jetzt geschlossen, diejenigen von *b* noch offen sind, daher die starke Verminderung von *b*. Wird *a* direktem Sonnenlicht ausgesetzt, so können in einer Stunde zusammen, indem nun zugleich die Stomata öffnen, 15 g Wasser abgegeben werden.

b) Tilia und Salix trocken. Ein Tiliazweig *a* und ein Weidenzweig *b* werden ohne Wasser zu erhalten, in einem nach Norden gelegenen Zimmer auf einen Tisch gelegt. Temperatur ca. 20° C. *a* Anfangsgewicht 53,8 g. Endgewicht nach 24 Stunden 46,5 g. *b* Anfangsgewicht 52,8 g. Endgewicht 38,3 g. Die Kobaltprobe ergibt, daß die Stomata von *a* jetzt geschlossen sind, dagegen von *b* aber noch offen sein können. Bei der Linde wird demnach der Stomata regulatorisch auf eine Herabsetzung der Transpiration tun. Lindenzweige welken langsam; Weidenzweige trocknen.

c) Tilia im direkten Sonnenlicht. Lindenzweig in Wasser *a* und ohne Wasser *b* direktem Sonnenlicht aussetzen. Nach 2–3 Stunden bei *a* Stomata offen, wie die Kobaltprobe ergibt, von *b* geschlossen.

101. Experimente mit Syringa.

Sproß von Syringa vulgaris mit offenen Spaltöffnungen in Wasser. Transpirationsgröße nach Methode unter 66 i, n, k Stunden im diffusen Licht relativ bestimmen. Es muß von allen Kobaltpapier, Zweig mit ohne Wasserzufuhr so lange liegen lassen, bis die Blätter welk erscheinen. Stomata geschlossen.

102. Beeinflussung der Transpiration durch äußere Umstände.

a) Tilia im direkten Sonnenlicht. Auf die transpirationsfördernde Wirkung höherer Temperatur und gesteigerter Lichtintensität ist bereits mehrfach hingewiesen worden. Man kann auch derartig experimentieren, daß in den Apparat Fig. 72 ein Lindenzweig, der vorher einige Stunden diffusem Licht ausgesetzt war, eingeführt wird. (Schale *P* und Glocke *G* sind zu entfernen.) Im diffusen Licht erfolgt der Rückgang des Wasserfadens im Glasrohr *Gl* langsam, im direkten Sonnenlicht (vor Beginn der Beobachtung wird der Apparat diesem $^1/_4$ Stunde lang ausgesetzt) schnell.

b) Luftfeuchtigkeit. Glas von 20 cm Höhe und ca. 50 mm Weite mit Wasser anfüllen, Weidenzweig einstellen und Oel auf das Wasser bringen. Unter große Glasglocke, deren Innenwand nicht feucht ist, stellen. Verdunstungsverlust durch Wägung nach 12 Stunden ermitteln. Nun noch Schale mit Chlorcalcium unter die Glocke stellen. In trockener Luft verdunstet der Sproß z. B. 6mal so lebhaft wie in der feuchteren Luft (Versuch ohne Chorcalcium).

Im Winter liefert der Versuch gute Resultate, wenn man mit Taxussprossen von ca. 35 cm Länge experimentiert. Verdunstungsgröße in 24 Stunden in feuchterer Luft z. B. 1 g, in trockener Luft 7 g.

c) Weiteres über Einfluß der Luftfeuchtigkeit. Ein Sproß von Syringa vulgaris mit ca. 27 Blättern, der 12 Stunden lang, unter Glasglocke und in Wasser gestellt, im Zimmer verweilt hatte, wird in den Apparat Fig. 72 eingeführt. Die Oeffnung des Porzellantellers wird sorgsam mit Watte verstopft. Temperatur 20° C. Ist der Apparat, nachdem man noch Chlorcalcium auf den Porzellanteller gebracht hat, zusammengestellt, so wartet man etwa $^1/_4$ Stunde. Nunmehr Rückgang des Wasserfadens im 2 mm weiten Rohr *Gl* 27 mm in 10 Minuten. Jetzt Wasser auf den Teller, Innenwand der Glocke benetzen. Rückgang des Wasserfadens, nachdem man wieder einige Zeit gewartet hat, in 10 Minuten 8 mm. Glocke entfernen; nach einiger Zeit Rückgang in 10 Minuten 19 mm.

d) Temperatureinfluß. Bei Bestimmung des Temperatureinflusses auf die Transpiration bringt man Chlorcalcium auf den Teller (Fig. 72), um dann z. B. bei 20° C Lufttemperatur und bei höherer zu beobachten. Die höhere Lufttemperatur erreicht man leicht, indem man das mit heißem Sand gefüllte Schälchen *S* unter die Glocke stellt. Natürlich kann die Beobachtung erst begonnen werden, wenn die Temperatur im Apparat einigermaßen konstant geworden ist.

e) Experimente mit dem Apparat Fig. 74. Wir experimentieren mit einem Weidenzweig (Salix fragilis) und mit dem in Fig. 74 dargestellten Apparat. *P* und *K* sind zunächst mit $CaCl_2$, später mit Wasser beschickt. Versuche in feuchter und trockener Luft bei recht konstanter Temperatur dauern je 4 Stunden. Ermittelung der Transpirationsverluste durch Wägung.

Experiment mit Salix fragilis (Zweig mit 150 Blättern). Apparat Fig. 74. Versuchsdauer je 4 Stunden. Stets in *P* und *K* Chlorcalcium. Transpirationsverlust bei 21° C 5,2 g, bei 32° C 8,5 g.

Kritische Bemerkungen über Transpirationsapparate vergl. in meinem Pflanzenphysiolog. Praktikum, 2. Aufl., 1895.

103. Wasserleitung im Holz und Ringelungsversuche.

a) Ringelungsversuche. Die Basis eines nicht vom Baume abgeschnittenen Astes von Pavia rubra oder Betula alba wird geringelt,

indem wir an der bezeichneten Stelle einen etwa 5 cm breiten Rindenstreifen rings im Umfang des Astes bis auf das Holz entfernen. Die Wundfläche wird mit Stanniol bedeckt. Die Blätter des Sprosses bleiben wochenlang frisch. Das Holz, nicht die Rinde, ist das wasserleitende Gewebe.

Ringelungsversuche an Rhus typhina ergeben, wie bereits DUTROCHET fand, daß die Blätter bereits nach wenigen Stunden welken. Die Wasserleitung findet im Splint des Holzes statt; dieser leidet bei Rhus typhina schon infolge der Ringelung, so daß die Wasserleitung im Pflanzenteil gestört wird.

b) Experimente mit Eosinlösung. Es wird wäßrige Eosinlösung, die in 10 cm dicker Schicht noch durchscheinend ist, hergestellt. Die Versuche mit Farbstofflösungen haben neuerdings durch die Arbeiten von WIELER und STRASBURGER wieder große physiologische Bedeutung gewonnen; bei der Deutung der Resultate der Experimente ist aber, zumal wenn es sich um Detailfragen handelt, stets viel Kritik zu üben. Untersuchungsobjekte: Sprosse von Impatiens parviflora, 20 mm dicke Sprosse von Robinia (mehrere Meter lang), von Tilia (ca. 1 m lang), Aristolochia, im Winter Sprosse von Rhododendron ponticum, Ilex, Phaseoluspflanzen, etiolierte Maiskeimlinge. Die abgeschnittenen Untersuchungsobjekte stellt man einige Stunden in Wasser und dann sofort in die Eosinlösung. Die Versuche mit Phaseolus stellen wir im Winter im Gewächshaus an. Die Tilia- und Aristolochiasprosse setzen wir direktem Sonnenlicht aus. Das Eosin tritt nach längerer oder kürzerer Zeit ($^1/_2$ Std. bei Impatiens und Phaseolus, $^1/_2$—4 Std. bei Tilia, Aristolochia, Rhododendron, 15 Std. bei Ilex etc.) nur in den Nerven der Blätter auf. Mikroskopische Untersuchung der Stengelquerschnitte lehrt, daß nur das Holz (bei Tilia z. B. nicht die verholzten Bastfasern, welche im Phloëm mit Weichbast abwechseln, bei Aristolochia nicht der Sklerenchymring) gefärbt erscheint. Besonders interessant sind die Versuche mit Robinia (diffuses Licht). Es ergibt sich (nach 2 Stunden bei ca. 16° C ist die Lösung schon mehrere Meter hoch emporgestiegen), daß nur die peripherischen Holzzonen und in diesen, wenn der Versuch nicht lange dauert, nur die trachealen Bahnen (nicht, wie mikroskopische Betrachtung von Querschnitten lehrt, die Holzfasern) gefärbt sind. Die Schnitte sind nach $^1/_2$-stündigem Verweilen des Sprosses in Eosinlösung höheren Teilen der Achse zu entnehmen. Die gefärbten Elemente stellen die Wasserleitungsbahnen dar.

104. Die Wasserleitung erfolgt im Lumen der trachealen Elemente.

a) Klemmversuch. Das Stengelglied über den Primordialblättern einer Phaseoluspflanze, welche auch bereits einige dreizählige Blätter entwickelt hat, wird zwischen Korkplatten in die Metallschraube (Fig. 75) eingespannt und diese fest angezogen. Nach 2 Stunden sind die Primordialblätter noch frisch, die dreizähligen Blätter aber gewelkt, da ihnen infolge Verschlusses der Lumina der trachealen Bahnen nicht genügende Wassermengen zuströmen können.

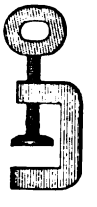


Fig. 75. Klemme.

b) Verschluß der trachealen Bahnen durch Gelatine. Zwei Zweige von Salix fragilis (*a* und *b*) werden abgeschnitten und mit der Basis in Wasser enthaltende Gläschen gestellt. Das Wasser für *a* wird noch mit einer Schicht Olivenöl bedeckt. *a* und *b* gelangen nun in den in Fig. 74 abgebildeten Apparat, nachdem die Porzellanschale sowie die Kristallisierschale mit Chlorcalcium beschickt

und die Luft im Zinkcylinder auf 32° C erwärmt worden ist. Nach Verlauf einer Stunde wird *b* herausgenommen, der Weidenzweig in ein Gläschen gestellt, das 3-proz. Gelatinelösung enthält, und die Oberfläche derselben mit Olivenöl bedeckt. *a* und *b* verweilen nun wieder eine Stunde lang im Apparat. Die Untersuchungsobjekte transpirieren, und *b* nimmt dabei die Gelatinelösung auf. Nach Verlauf der angegebenen Zeit werden *a* und *b* aus dem Apparat herausgenommen. *b* wird, nachdem durch Entfernen eines einige Centimeter langen Stückes an der Basis des Zweiges eine neue Schnittfläche hergestellt worden ist, in Wasser getaucht, um die Untersuchungsobjekte nunmehr bei 20° C sich selbst zu überlassen. Die Gelatine erstarrt in den Gefäßen von *b*, was die Wasserbewegung in denselben stört. Nach Verlauf von 20 Stunden sind die Blätter von *b* dann welk, während diejenigen des Kontrollzweiges *a* noch frisch erscheinen. (Versuch von SCHLEICHERT in meinem Praktikum angestellt, nach ERRERA und STRASBURGER.)

105. Beweglichkeit des Wassers im Holz.

a) Abies pectinata. Ein frisch abgeschnittenes, 15—30 cm langes und 2—4 cm Durchmesser besitzendes Aststück von Abies pectinata bleibt 12 Stunden in Wasser liegen. Das Aststück wird abgetrocknet, und man glättet seine Schnittflächen sorgfältig. Wird das Untersuchungsobjekt in vertikaler Stellung gehalten und auf die obere Schnittfläche mit Hülfe eines Pinsels oder Glasstabes ein Wassertropfen gebracht, so beobachtet man, daß dieses Wasser schnell in das Holz eindringt, während die Schnittfläche am unteren Ende feucht wird. Ein schnelles Umdrehen des Holzstückes läßt eine Wiederholung des Vorganges beobachten. Es genügt also ein minimaler Druck, um die im Holz vorhandenen Wasserfäden in Bewegung zu setzen.

b) Taxus baccata. Ein Glasrohr von ca. 7 mm lichtem Durchmesser wird zweimal im rechten Winkel gebogen. Länge der beiden Schenkel 30 resp. 6 cm (vergl. Fig. 76). Ueber den kürzeren Schenkel des Glasrohres wird ein kurzer Kautschukschlauch gezogen und in das freie Ende desselben ein entrindetes Zweigstück von Taxus baccata von 50 mm Länge und 8 mm Durchmesser, welches 24 Stunden in Wasser verweilt hatte, eingeführt. Endlich wird das freie Ende des Taxusholzes mit einem Kautschukschlauch und dem Glasrohr *g'* in Verbindung gesetzt. Füllen wir das Glasrohr *g* völlig mit Wasser an, so filtriert die Flüssigkeit mit großer Leichtigkeit durch den Holzcylinder, trotzdem die Tracheiden desselben allseitig geschlossene Zellen darstellen. Nach einer Stunde kann z. B. im Glasrohr *g'* bereits ziemlich viel Wasser angesammelt sein.

106. Die Transpiration als Ursache von Wasserbewegungen.

a) Saugende Wirkung der Transpiration. Die Transpiration muß, wie früher schon hervorgehoben worden ist, als wesentlichste Ursache der raschen Wasserbewegung in der Pflanze betrachtet werden. Um die dabei tätige saugende Wirkung der Verdunstung kennen zu lernen, verwenden wir den in Fig. 77 dargestellten Apparat. Sprosse von Lonicera tatarica, Salix fragilis, Taxus baccata (letzterer Sproß für Versuche im Winter, aber auch im Sommer), die 50—70 cm lang sind und viele Blätter tragen, werden an ihrer Basis mit einem kurzen Kautschukschlauch verbunden. In das noch freie Ende des letzteren führt man ein Glasrohr von 40 cm Länge und 7 mm lichtem Durchmesser ein. Das Glasrohr wird völlig mit Wasser angefüllt und mit seinem offenen

nter Quecksilber gebracht. Indem der Sproß transpiriert, das Wasser des Glasrohres und auch das Quecksilber empor, sses nach kurzer Zeit einige Centimeter Glasrohr steht. Bei rreichte der Queck- nd in 20 Stunden öhe. Bei Versuchen r steigt das Queck- nell (z. B. in $^1/_2$ Std.), r dann rasch wieder ohr herab, weil der Widerstand der ungen der Blätter den wird und Luft flanze eindringt. ei beschleunig- anspiration ist asserbewegung ter. Zwei Ilex- (*a* und *b*) mit etwa

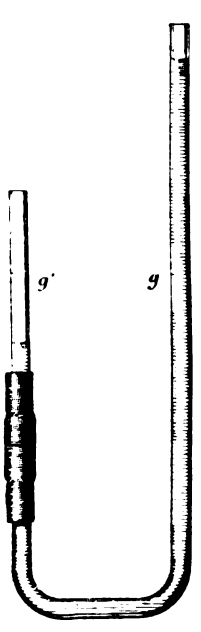


Fig. 76.

Fig. 77.

76. Apparat zum Nach- leichten Beweglichkeit ers im Holz.
77. Apparat zum Nach- augenden Wirkung der tion.

ern stellt man längere Zeit in Wasser, dann in Eosinlösung. frei stehen, *b* wird nebst einer Wasser enthaltenden Schale ne Glasglocke gebracht, deren innere Wand benetzt worden ist. Stunden bei *a* Eosin in der ganzen Achse und in den Nerven sten Blätter. Im Sproß *b*, der kaum verdunsten konnte, ist das ir bis zu geringer Höhe emporgestiegen (Experiment im Winter). ei $^1/_2$ m lange Sprosse von Tilia grandifolia (*a* und *b*) verweilen, r Basis in Wasser eintauchend, 2 Stunden lang unter einer innen n Glasglocke im diffusen Licht. Beide Sprosse werden alsdann lösung gestellt, *a* verbleibt unter der Glocke im diffusen Licht, frei direktem Sonnenlicht exponiert. Nach $^1/_2$ Stunde ist Eosin beren Teilen (Achse und Blätter) von *b* nachzuweisen. In *a* ist bstoff nur bis zu geringer Höhe emporgestiegen.

107. Physikalische Experimente über Wasserbewegung.

Experiment mit Membranen. Der obere trichterförmig te Teil eines ca. 20 cm langen Glasrohres wird mit angefeuchteter sblase verschlossen. Man füllt das ganze Glasrohr mit Wasser taucht es mit seinem unteren Ende in Quecksilber (vergl. Fig. 78). lie mit Wasser durchtränkte Membran Wasser durch Verdunsten nimmt sie neue Flüssigkeitsmengen aus dem Inneren unserer Vor- auf, und man beobachtet daher alsbald, daß das Quecksilber in asrohr emporgehoben wird.

Askenasys Experiment. Wir rühren gebrannten Gips mit chtem und in einem verschlossenen Gefäß wieder abgekühltem

destilliertem Wasser zu einem etwas dickflüssigen Brei an und gießen die Masse in einen Trichter *T* (Fig. 79) von etwa 150 ccm Kapazität. Die Oeffnung des kurzen Trichterrohres wird mit dem Finger verschlossen, und der Trichter *T*, wenn der Gips erhärtet ist, in den Ring eines Stativs gehängt. Mit dem Trichterrohr steht durch einen kurzen Kautschukschlauch das etwa 90 cm lange Glasrohr *G* in Verbindung. Dies Rohr ist mit ausgekochtem destilliertem Wasser angefüllt und taucht mit seinem unteren Ende in Quecksilber ein. Indem der Gips Wasser verdunstet, zieht er die Flüssigkeit in *G* und auch das Quecksilber empor. Askenasy sah das Quecksilber weit höher als 76 cm steigen und gründet auf seine Beobachtungen eben jene früher erwähnte Theorie über die Wasserleitung in der Pflanze. Bei dieser Wasserbewegung sind, ebenso wie im vorliegenden Experiment, saugende Kräfte und bedeutende Kohäsion der Teilchen der Wasserfäden die wichtigsten Faktoren.

Fig. 78.

Fig. 7

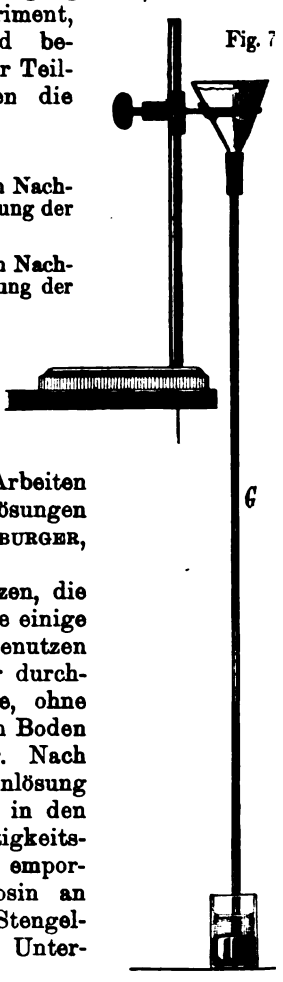


Fig. 78. Apparat zum Nachweis der saugenden Wirkung der Verdunstung.

Fig. 79. Apparat zum Nachweis der saugenden Wirkung der Verdunstung.

108. Geschwindigkeit der Wasserbewegung in der Pflanze.

Die Lithiummethode von Sachs liefert gewiß gute Resultate bei der Bestimmung der Wasserleitungsgeschwindigkeit in der Pflanze; neuere Arbeiten lehren aber, daß auch Experimente mit Eosinlösungen brauchbare Werte ergeben. (Kritisches bei Strasburger, Bau und Verrichtung der Leitungsbahnen.)

Im Winter arbeiten wir mit Phaseoluspflanzen, die im Gewächshaus so weit entwickelt sind, daß sie einige dreizählige Blätter gebildet haben. Im Sommer benutzen wir im Freien erwachsene Hopfenpflanzen. Wir durchschneiden den Stengel der Untersuchungsobjekte, ohne sie von ihren Stützen abzuwickeln, dicht über dem Boden und bringen die Schnittflächen sofort in Wasser. Nach $^1/_2$ Stunde führen wir die Stengelbasis in Eosinlösung ein. In einer Stunde kann die Farbstofflösung in den Bohnenpflanzen bei nicht gar zu hohem Feuchtigkeitsgehalt der Luft im Gewächshause 40 cm hoch emporsteigen. In den Hopfenpflanzen kann das Eosin an heißen Sommertagen nach einer Stunde eine Stengelstrecke von 3 m Länge passiert haben, wie die Unter-

suchung von Querschnitten lehrt, die man der Pflanze an verschiedenen Stellen ihres Stengels entnimmt.

109. Welken der Pflanzen.

a) Experimente mit Phaseolus. Bohnenpflanzen werden im Freien in Blumentöpfen kultiviert, bis ihre Primordialblätter völlig entwickelt sind. Wir stellen die Töpfe, ohne der Erde in denselben fernerhin Wasser zuzuführen, an einem Orte auf, an welchem die Untersuchungsobjekte nicht von direktem Sonnenlicht getroffen werden und daher langsam welken. Der turgeszente Zustand der Untersuchsungsobjekte kann wiederhergestellt werden, indem wir das Bodenmaterial reichlich begießen, oder indem wir die Pflanzen unter eine Glocke stellen, ohne der Erde Wasser zuzuführen.

b) Experimente mit Helianthus. Ein 1,5 m langer Sproß von Helianthus tuberosus wird abgeschnitten und in Wasser gestellt. Der Sproß welkt langsam.

Ein 15 cm langer Sproß von Helianthus wird abgeschnitten und in Wasser gestellt, nachdem die Schnittfläche, ebenso wie diejenige des langen Sprosses, $^1/_2$ Minute lang mit der Luft in Berührung gewesen ist. Welken des kurzen Sprosses tritt aus den auf S. 103 angegebenen Gründen alsbald (bei 20° C in 1—2 Stunden, bei höherer Temperatur schneller) ein. (Der erwähnte $1^1/_2$ m lange Sproß welkt viel langsamer.) Um den welken Pflanzenteil wieder in den turgeszenten Zustand zu versetzen, können wir in verschiedener Art verfahren. Wenn wir fast alle angewelkten Blätter abschneiden, so nehmen die noch vorhandenen Blätter bald wieder ein frisches Aussehen an. Preßt man in den welken Sproß (derselbe möge zu diesem Versuch 40 cm Länge haben und zunächst ebenso wie ein kürzerer Sproß behandelt worden sein) nach der unter 96 angegebenen Methode Wasser durch höheren Quecksilberdruck (30—50 cm) ein, so turgeszieren seine Gewebe aufs neue. Der Sproß wird wieder frisch, wenn man eine Glasglocke über ihn deckt. Dasselbe ist der Fall (bei 20° C in 1—2 Stunden), wenn man von einem angewelkten, in Wasser stehenden Helianthussproß ein 5 cm langes Stengelstück mit einem scharfen Messer unter Wasser abschneidet (Temperatur beim Versuch 20° C).

Wir biegen lange Sprosse von Helianthus, ohne sie von der Pflanze zu trennen und ohne sie zu knicken, so herab, daß eine 15 cm vom Gipfel entfernte Stelle in das Wasser eines untergestellten Gefäßes eintaucht, der Gipfel sowie die Blätter aber nicht benetzt werden. Jetzt trennen wir das 15 cm lange Sproßende durch einen mittelst eines scharfen Messers geführten Schnitt von der Pflanze und sorgen vor allem dafür, daß die Schnittfläche gar nicht mit der Luft in Berührung kommt, sondern stets unter Wasser bleibt. Unser Sproß erhält sich im Gegensatz zu jenem in der Luft abgeschnittenen Untersuchungsobjekt lange frisch.

Werden stark verholzte Sprosse (z. B. Weidenzweige von 15 cm Länge) abgeschnitten und, nachdem die Schnittflächen 2 Minuten lang in Luft verweilt haben, in Wasser gestellt, so welken die Sprosse nicht; sie bleiben lange frisch.

Dritter Abschnitt.

Stoffwechselprozesse im vegetabilischen Organismus.

I. Verhalten stickstoffhaltiger Verbindungen.

Im Stoffwechsel erfahren die in der Pflanze vorhandenen organischen Körper, d. h. die Bestandteile der organisierten Gebilde der Zellen sowie die plastischen Stoffe, z. B. Zucker, Fett, Eiweiß, chemische Veränderungen (leichtere Metamorphosen oder auch tiefgreifende Zersetzungen). Diese Stoffwechselprozesse erfolgen im Gegensatz zur Assimilation nicht nur in der chlorophyllhaltigen, sondern in jeder Zelle, sowohl bei Lichtzutritt, als auch im Dunkeln. Sie sind vielfach mit Kohlensäurebildung (Atmung) verbunden, wirken auf eine Verminderung des Trockensubstanzgehaltes der Zellen hin und führen im allgemeinen zu einem Freiwerden aktueller Energie auf Kosten der in der organischen Substanz aufgehäuften potentiellen Energie.

Die letzten Bedingungen für das Zustandekommen aller Stoffwechselprozesse sind im Protoplasma gegeben. Wir gehen von der Vorstellung aus, daß die Micellen der protoplasmatischen Gebilde (Cytoplasma, Kern, Chlorophyllkörper etc.) aus physiologischen Elementen oder lebendigen Eiweißmolekülen aufgebaut sind (Pflüger). Diese lebendigen Eiweißmoleküle können, wie wir mit dem genannten Forscher annehmen, infolge des labilen Gleichgewichtszustandes, in welchem sich ihre Atome befinden und infolge der lebhaften intramolekularen Bewegung der letzteren leicht Zertrümmerungen erleiden. Die dadurch bedingten, namentlich im Cytoplasma (Körnerschicht desselben) kontinuierlich zur Geltung kommenden Dissoziationsprozesse führen vor allen Dingen zur Bildung stickstofffreier Atomgruppen, die ihrerseits durch Dekompositionsvorgänge veratmet werden können, und zur Erzeugung den Zellen verbleibender stickstoffhaltiger Substanzen, (Asparagin, Leucin, Tyrosin, Glutamin, Arginin, Allantoin) (vergl. Borodin). Nach Schulze brauchen diese Stoffe aber keineswegs sämtlich ihrer Gesamtmenge nach direkt beim Eiweißzerfall zu entstehen, vielmehr scheint z. B. das Asparagin, mindestens zum Teil, erst sekundär aus Eiweißdissoziationsprodukten gebildet zu werden. Die für den Fortgang des Lebensprozesses erforderliche Regeneration physiologischer Elemente findet statt, indem sich die stickstoffhaltigen Dissoziationsprodukte resp. ihre Abkömmlinge wieder mit stickstofffreiem plastischen Material (Assimilaten, Reservestoffen, Zucker, den z. B. Pilze von außen aufgenommen haben) assoziieren. Eine wirkliche Vermehrung der lebendigen Eiweißmoleküle erfolgt in der Pflanze durch Aktivierung (Vitalisierung) toter Eiweißmoleküle, also solcher, die in den Blättern gebildet werden, schon als plastisches Reservematerial deponiert waren oder in mehr oder minder verändertem Zustande von außen in die Pflanze übergetreten sind (Peptone, z. B. bei Insektivoren, Produkte der in alkalischer Lösung erfolgenden Trypsinverdauung bei Bakterien). Pepsin kann das Eiweiß, z. B. auch Reserveeiweiß, nur in Albumosen und Pepton verwandeln; Trypsin erzeugt diese Stoffe und weiter Leucin, Tyrosin Asparaginsäure etc., Körper, die sehr wanderungsfähig sind und unter Beihülfe von Kohlehydraten zur Bildung lebendiger Eiweißmoleküle benutzt werden können. Oft wird das Reserveeiweiß aber auch wohl direkt, d. h. ohne vorausgehende Spaltung, vitalisiert.

Plastisches Material dient nicht allein zur Bildung organisierter Zellenbestandteile, sondern es kann auch direkt, oder indem seine Substanz bei Dissoziations- oder Dekompositionsprozessen verarbeitet wird, zur Produktion von Nebenprodukten des Stoffwechsels Verwendung finden. Solche Nebenprodukte sind Sekrete, die, im Organismus verbleibend, ohne Baustoff für Zellen zu sein, demselben doch irgend welchen Nutzen gewähren, und Exkrete, die der Organismus ausscheidet, z. B. Kohlensäure, Alkohol, von Bakterien produziertes Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Stickstoff.

Abgesehen von den physiologischen Elementen kommen mancherlei Eiweißsubstanzen oder diesen nahestehende Stoffe in der Pflanze vor (vergl. Cohnheim): eigentliche Eiweißstoffe (Albumin, Legumin, Konglutin, Kleberproteinstoffe), Proteide (Nuclein, d. h. Verbindung von Eiweiß mit der phosphorhaltigen Nucleinsäure), Albuminoide (Chitin in Pilzmembranen), Peptone, Fermente (Diastase; Zymase; Trypsin in keimenden Lupinen und Gerstenkeimlingen etc., welches, wie schon angedeutet, Reserveeiweiß spaltet, während die lebendigen Eiweißmoleküle durch die bereits erwähnten Dissoziationsprozesse zerfallen; Pepsin in Keimpflanzen von Hordeum, Zea und Papaver, bei Insektivoren, in Milchsäften; Invertin; Emulsin). (Pflüger, Arch. f. d. gesamte Physiologie, 1875, Bd. 10; Borodin, Botan. Zeitung, 1878; Detmer, Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 12; Schulze, Zeitschr. f. physiologische Chemie, Bd. 14; Pfeffer, Botan. Zeitung, 1874; Cohnheim, Chemie der Eiweißkörper, Braunschweig 1900; Zacharias, Botan. Zeitung, 1881.)

Abgesehen von den oben genannten Enzymen, kommen z. B. noch Inulase, Cellulose lösende Cytase, fettspaltende Lipase, Oxydasen etc. in der Pflanze vor. Bei aller Würdigung der Bedeutung der Fermente für das Leben des Organismus scheint mir diese Bedeutung von mancher Seite heute doch gar zu sehr überschätzt zu werden.

Die Enzyme, Kolloide von höchst komplizierter Zusammensetzung und wahrscheinlich eiweißartiger Natur, sind Stoffe, die, „meist ohne sich merklich an der Reaktion zu beteiligen, allein durch ihre Anwesenheit einen chemischen Vorgang ablaufen machen, welcher ohne das Ferment in endlicher Zeit nicht oder nur langsam ablaufen würde“ (Ostwald). Die Enzyme gehören zur Gruppe der Katalysatoren; wohl sicher beteiligen sie sich, ebenso wie die letzteren, nur scheinbar nicht direkt an den durch sie vermittelten Reaktionen. In Wirklichkeit rufen die Enzyme vermutlich Ionenbildung hervor, verbinden sich mit den Ionen (elektrisch geladenen Atomen) und geben dieselben an jene Substanzen ab, welche enzymatisch modifiziert werden. Diese Ansicht ist neuerdings wenigstens von einigen Seiten vertreten worden.

Das analoge Verhalten der Katalysatoren (zum Teil anorganische Fermente) und Enzyme tritt durch neuere Forschungen immer mehr hervor. Die spezifisch zersetzende Wirkung des kolloidalen Goldes oder anderer Stoffe auf H_2O_2 kann z. B., genau so wie die Wirkung der Enzyme auf H_2O_2, durch Erhitzen der Lösungen oder Vergiftung durch Spuren von Blausäure oder Schwefelwasserstoff sistiert werden (Bredig, Anorgan. Fermente, Leipzig 1901).

Wir wissen heute, daß Enzyme nicht nur Spaltungen (exothermische Prozesse), sondern vielleicht auch einige Synthesen (endothermische Vorgänge) vermitteln können. Nach Croft Hill erzeugt Maltase nicht nur Traubenzucker aus Maltose, sondern regeneriert letztere auch bei langer Einwirkung aus ersterem. Starke Salzsäure wandelt Traubenzucker in

Isomaltose und dextrinartige Körper um (E. Fischer). (Näheres über das Vorstehende vergl. bei Höber, Physikal. Chemie der Zellen und der Gewebe, Leipzig 1902. Ferner vergl. Green, Die Enzyme, Berlin 1901, und Oppenheimer, Die Fermente, Leipzig 1900.)

110. Einige Eiweißstoffe der Pflanzen.

a) Albumin. Malz wird auf einer Handmühle zermahlen. 5 g des Pulvers werden mit 20 ccm Wasser einige Zeit in Berührung gelassen. Erhitzt man eine kleine Menge des völlig klaren Filtrates in einem Reagensglase, so scheidet sich ein Koagulum von Albumin ab.

b) Konglutin. Man übergießt 30 g Lupinenpulver mit 200 ccm Wasser, macht die Flüssigkeit durch Zusatz von Kalilauge schwach alkalisch und läßt sie eine Stunde lang stehen. Nun bringt man alles aufs Filter. Das Filtrieren geht sehr langsam vor sich, so daß eventuell erst am nächsten Tage eine genügende Menge des Filtrats gewonnen ist. Das Filtrat wird schwach mit Essigsäure angesäuert. Es entsteht ein Niederschlag von Konglutin, den man auf einem Filter sammelt und mit Wasser auswäscht. Suspendiert man etwas von dem Konglutin in Wasser und fügt Kalilauge, Phosphorsäure, Essigsäure, Citronensäure oder eine Auflösung von phosphorsaurem Natron (Na_2HPO_4) hinzu, so wird der Eiweißstoff aufgelöst.

c) Kleberproteinstoffe. Weizenmehl wird mit Wasser angerührt und der Teig zwischen den Händen unter einem kontinuierlichen, dünnen Wasserstrahl ausgeknetet. Es bleibt eine zähe, elastische Masse, der Kleber, zurück, welchem nur noch kleine Mengen Stärke beigemischt sind. Der Kleber, der in kalihaltigem Wasser löslich ist, besteht aus einer Reihe von Eiweißstoffen (Kleberproteinstoffen), namentlich aus Glutenfibrin, Gliadin und Mucedin, welche ihm zum Teil durch Alkohol entzogen werden können.

111. Makro- und mikrochemische Eiweißreaktionen.

a) Makrochemisches. Es ist hier (auch beim mikrochemischen Nachweis der Eiweißstoffe) immer erforderlich, um sich vor Täuschungen zu bewahren, mehrere Reaktionen auszuführen.

Wir quellen Samen von Lupinus an und stellen Querschnitte aus den Kotyledonen her. Diese gelangen auf weiße Teller. 1: Zusatz von Jodjodkalium; 2: Zusatz von Salpetersäure und sogleich von Ammoniak; 3: Zusatz alkoholischer Vanillinlösung, nach dem Eintrocknen derselben Zusatz von Schwefelsäure zu dem Schnitt; 4: Zusatz konzentrierter Rohrzuckerlösung und dann von Schwefelsäure; 5: Zusatz von Millonschem Reagens. Dasselbe muß frisch sein und wird bereitet, indem man Quecksilber in der Kälte mit dem gleichen Gewichtsteil konzentrierter, rauchender Salpetersäure behandelt und die Flüssigkeit nach erfolgter Auflösung des Metalles mit ihrem gleichen Volumen Wasser verdünnt. Alle Reagentien sind den Schnitten mit einem Glasstab hinzuzufügen. Resultate: 1: Braunfärbung; 2: die Schnitte werden zitronengelb; 3: Rotfärbung der Schnitte 4: Rotfärbung; 5: die Schnitte werden nach einiger Zeit ziegelrot.

Eine kleine Konglutinmenge (vergl. unter 110) wird auf einem Teller mit alkoholischer Vanillinlösung versetzt. Man läßt eintrocknen und fügt Schwefelsäure hinzu. Der Eiweißstoff färbt sich rot.

Konglutin wird in Wasser suspendiert. Man fügt sehr wenig Kalilauge hinzu, erhitzt im Reagensglas und bringt einen Tropfen Fehlingscher

Lösung in die Flüssigkeit. Violettfärbung derselben zeigt die Gegenwart des Eiweißstoffes an.

b) Mikrochemisches. Wir stellen nicht gar zu dünne Schnitte aus den Kotyledonen angequollener Phaseolussamen her, bringen dieselben in einem Wassertropfen auf den Objektträger, fügen etwas Fehlingsche Lösung hinzu, bedecken mit Deckglas und erhitzen, bis sich kleine Blasen bilden. Der Inhalt der Zellen färbt sich infolge seines Eiweißgehaltes violett. (Biuretreaktion.)

Aus einem trockenen Kotyledo der Erbse (auf die Schnittfläche ist etwas Glycerin zu bringen) stellen wir Querschnitte her. Wir legen die Schnitte in Glycerin, das mit $^1/_2$ Wasser verdünnt worden ist, auf den Objektträger. Nun lassen wir Jodjodkaliumlösung vom Deckglasrande aus zu den Schnitten treten. Grundmasse und Aleuronkörner der Zellen färben sich infolge ihres Eiweißreichtums gelb.

Schnitte aus den Kotyledonen einer trockenen Erbse werden auf dem Objektträger in einen Tropfen des eventuell etwas erwärmten, frisch bereiteten Millonschen Reagens eingelegt. Der Inhalt der Zellen wird desorganisiert, färbt sich aber infolge seines Eiweißgehaltes nach einiger Zeit ziegelrot.

112. Pepsin und Peptone.

Etwas Fibrin (aus Ochsenblut), das vom Fleischer zu beziehen und in Glycerin aufzubewahren ist, wird zunächst gründlich mit Wasser ausgewaschen. Wenige Stückchen des Fibrins bringt man dann in Wasser, welches 0,2 Proz. Salzsäure enthält und erwärmt die Flüssigkeit in einem Probierglas, indem man dasselbe in Wasser von 40 ° eintaucht. Nach erfolgtem Aufquellen des Fibrins werden der Flüssigkeit einige Tropfen Milchsaft hinzugefügt, der aus den Stielen im unreifen Zustande abgeschnittener Feigenfrüchte ausgeflossen ist. Die Peptonisierung und Verflüssigung des Fibrins tritt in wenigen Augenblicken ein.

Es ist wichtig, daß sich die Peptone leichter als die Eiweißstoffe auf osmotischem Wege in der Pflanze bewegen können. Bei der Bildung der Peptone finden komplizierte Prozesse statt. Peptonlösungen, mit Kalilauge neutralisiert, erhitzt und mit Fehlingscher Lösung versetzt, nehmen keine violette, sondern eine purpurrote Färbung an. Man führe die Reaktion mit käuflichem Pepton aus.

113. Nuclein.

Das phosphorhaltige Nuclein der Kerne unterscheidet sich von den gewöhnlichen Proteinstoffen besonders auch dadurch, daß es von pepsinhaltigen Flüssigkeiten nicht angegriffen wird. Ein Stückchen der Epidermis der Blattunterseite von Tradescantia virginica wird auf den Objektträger in einen Tropfen pepsinhaltiger Flüssigkeit gebracht (Zacharias). Die Lösung stellt man her, indem man vom Fleischer bezogene, frische Stücke der Schleimhaut des Schweinemagens mit Glycerin extrahiert und zu 1 Volumteil des Filtrats 3 Volumenteile 0,2-proz. Salzsäure hinzufügt. Die Untersuchung lehrt, daß das Protoplasma sich kontrahiert hat, während die Kerne in den Zellen bald völlig homogen werden. Die Kerne nehmen dann an Volumen zu und stellen endlich gelbliche, stark lichtbrechende Gebilde dar, die keine weitere Veränderung erfahren. Wenn die homogen gewordenen Kerne beginnen, sich zu vergrößern, wird das kontrahierte Protoplasma an einer oder an mehreren Stellen blasig aufgetrieben. Schließlich platzt die Blase, und es bleiben nur un-

bedeutende Protoplasmareste übrig, die den Kern umgeben. Verdünnte Salzsäure verändert die mit der künstlichen Verdauungsflüssigkeit behandelten Kerne nicht, während sie sich in verdünnter Sodalösung sofort auflösen.

114. Nachweis des Asparagins.

a) Makroskopisches. In einen Zinkblechkasten von 30 cm Länge, 15 cm Breite und 10 cm Höhe werden in Sägespänen viele Lupinensamen eingeführt. Die Pflanzen keimen im Dunkeln 2—3 Wochen lang bei 20° C. 60—70 g der Hypokotyle zerquetscht man ohne Wasserzusatz im Mörser, bringt die Masse in ein Leinentuch, preßt mit den Händen aus, erhitzt den Saft zur Abscheidung des Albumins auf dem Wasserbad und filtriert wiederholt. 10 ccm des Saftes trägt man in 50 ccm Alkohol ein, schüttelt gut durch und läßt ruhig stehen. Das Asparagin scheidet sich als weißer Bodensatz ab. Nach den Angaben unter b kann man die Asparaginkristalle mikroskopisch als solche erkennen.

b) Mikroskopischer Asparaginnachweis. Aus dem Hypokotyl 2—3 Wochen alter und im Dunkeln erwachsener Keimlinge von Lupinus stellt man nicht gar zu dünne Querschnitte her. Die Schnitte werden, ohne mit Wasser in Berührung gelangt zu sein, in ein Uhrschälchen gelegt, in welchem sich absoluter Alkohol befindet. Man schwenkt die Schnitte schnell in der Flüssigkeit hin und her und untersucht sie. Ist nur sehr wenig Asparagin in den Zellen eines Beobachtungsmaterials vorhanden, so tut man am besten, die Schnitte auf dem Objektträger mit absolutem Alkohol zu betupfen, das Deckglas aufzulegen, um das Präparat nach dem Trocknen einer mikroskopischen Beobachtung zu unterziehen.

Das Asparagin scheidet sich durch Alkoholzusatz in den Zellen in Kristallen ab. Dieselben gehören dem rhombischen System an. Namentliche sind solche Kristalle charakteristisch, welche in Form rhombischer Tafeln mit einem stumpfen Winkel von 129° 18′ auftreten und beträchtliche Größe besitzen (vergl. Fig. 80).

Fig. 80. Asparaginkristalle. (Nach Zimmermann.)

Wenn man einen Tropfen Saft, den man aus dem Hypokotyl von Lupinus ausgepreßt hat, auf dem Objektträger mit Alkohol versetzt, so scheiden sich aus der Flüssigkeit viele Asparaginkristalle ab.

Um jede Verwechselung der ausgeschiedenen Asparaginkristalle mit anderen Körpern, z. B. Salpeterkristallen, zu vermeiden, behandelt man die Schnitte nachträglich mit einer völlig gesättigten Asparaginlösung. Bestehen die durch Alkohol erzeugten Kristalle wirklich aus Asparagin, so lösen sie sich nun nicht auf. Andere Kristalle werden aber von der Asparaginlösung aufgenommen.

115. Das Verhalten des Asparagins in den Pflanzen.

Handelt es sich darum, Aufklärung über die physiologische Funktion des Asparagins zu gewinnen, so bieten sich uns in erster Linie die Keimpflanzen von Lupinus luteus als ausgezeichnete Untersuchungsobjekte dar. Bei der Keimung der Lupine streckt sich das hypokotyle Glied sehr bedeutend, die Kotyledonen werden über die Erde gehoben, streifen die Samenschale alsbald ab und fungieren als Assimilationsorgane. Später streckt sich dann auch das epikotyle Stengelglied, und die ersten

Laubblätter entfalten sich. Das hypokotyle Glied hat ein mächtiges Rindenparenchym entwickelt, welches den Gefäßbündelkreis sowie das Mark umschließt. In den Stielen der Kotyledonen sind die Gefäßbündel halbmondförmig angeordnet. Das Grundgewebe der Kotyledonen ist nur in der peripherischen Region derselben reich an Chlorophyllkörnern. Die Verteilung des Asparagins der sich unter normalen Verhältnissen, also bei Lichtzutritt, entwickelnden Keimpflanze von Lupinus gestaltet sich nun nach den mikrochemischen Untersuchungen Pfeffers, von denen ich eine ganze Anzahl wiederholt habe, wie folgt: Die Samen sind asparaginfrei. Hat die Wurzel 12 und das hypokotyle Glied 2—4 mm Länge erreicht, so ist in diesen Organen, sowie im unteren Teile der Samenlappenstiele wenig Asparagin vorhanden. Keimpflanzen von 30—40 mm Wurzellänge, deren Kotyledonen noch nicht wesentlich über der Erde hervorgehoben worden sind, führen in der Wurzel Asparagin; dasselbe fehlt aber der Wurzelspitze. In den Rindenzellen des hypokotylen Gliedes sowie im unteren Teile der Stiele der Kotyledonen ist Asparagin vorhanden. Der Lamina der Kotyledonen fehlt aber das Asparagin noch. Ist die Keimung so weit fortgeschritten, daß sich die Kotyledonen ausbreiten, dann ist in diesen Asparagin vorhanden. In den Samenlappenstielen, zumal aber im hypokotylen Glied finden sich jetzt sehr reichliche Asparaginmengen. Das Säureamid kommt aber nur in den Zellen des Parenchyms dieser Organe vor; den Elementen der Gefäßbündel fehlt dasselbe, wie immer, vollkommen. Wenn sich das epikotyle Stengelglied streckt, so ist auch in diesem Asparagin nachzuweisen, während die übrigen Organe der Keimpflanze, zumal das hypokotyle Glied, allmählich asparaginärmer werden. Bei weiter fortschreitender Entwickelung der Pflanzen unter normalen Vegetationsbedingungen verschwindet das Asparagin gänzlich aus allen Organen, weil jetzt infolge lebhafter Assimilation so erhebliche Mengen stickstofffreier organischer Körper erzeugt werden, daß die durch Dissoziation gebildeten stickstoffreichen Zersetzungsprodukte der physiologischen Elemente sofort ihrer Gesamtmasse nach zu Eiweißstoffen regeneriert werden können. Beachtung verdient auch noch die Tatsache, daß in dem Maße, wie die Asparaginbildung bei der Keimung Fortschritte macht, die Menge der Reserveproteinstoffe in den Reservestoffbehältern abnimmt. Untersucht man z. B. die Kotyledonen von Lupinus, wenn die Streckung des epikotylen Gliedes beginnt, so erscheint der Zellinhalt bereits sehr aufgeklärt, und die Behandlung der Schnitte mit Jod lehrt, daß der Eiweißgehalt der Zellen kein übermäßig großer mehr sein kann.

Werden Keimlinge von Lupinus bei Lichtabschluß zur Entwickelung gebracht, so sind selbst noch die nach Verlauf längerer Zeit absterbenden Untersuchungsobjekte asparaginreich, weil es unter den bezeichneten Umständen an stickstofffreiem Material fehlt, das für Eiweißregenerationen Verwendung finden könnte. (Ueber Methode des Asparaginnachweises vergl. unter 114.)

II. Der Atmungsprozess.

Jede lebenstätige Zelle atmet zu jeder Zeit (am Tage und in der Nacht). Mit dem Tode erlischt die Atmungstätigkeit der Zellen völlig. Mit der Atmung geht freilich gewöhnlich ein sehr bedeutender Substanz-

verlust der Pflanzen Hand in Hand, indessen trotz dieses Opfers an organischem Material ist dennoch die Atmung (physiologische Oxydation) von höchster Bedeutung für die Pflanzen. Durch sie werden die für das Wachstum geeigneten Stoffe gebildet, sie liefert Betriebskräfte für den Fortgang des Lebens. Durch Atmung (und andere Stoffwechselprozesse) werden verschiedene Energieformen verfügbar, thermische Energie, photische Energie (Licht), elektrische Energie, mechanische Energie, die bei Plasmabewegungen kenntlich werden kann, und Spannungsenergie. Mit Rücksicht auf diese letztere ist zu bemerken, daß ein Teil der potentiellen Energie, welche infolge der Atmung ausgelöst wird, zur Aktivierung (Vitalisierung) von Eiweiß oder eiweißbildender Atomgruppen dient und als chemische Spannkraft in den physiologischen Elementen des Plasmas auftritt. (Vergl. S. 122.)

Die normale Atmung (Sauerstoffatmung) kommt zu stande, indem die stickstofffreien Dissoziationsprodukte der physiologischen Elemente durch den molekularen Sauerstoff oxydiert werden. Ich stehe wenigstens auf dem Standpunkt, nach welchem die CO_2, welche Pflanzen bei Sauerstoffzutritt produzieren, nicht, wie z. B. Godlewski meint, in gleicher Weise wie bei intramolekularer Atmung gebildet wird. Als Produkte normaler Atmung entstehen Kohlensäure, Wasser, sowie für das Zellhautwachstum geeignete Stoffe. Gewisse Bakterien sollen nur Essigsäure (keine Kohlensäure) erzeugen. Schimmelpilze produzieren als Atmungsprodukte neben Kohlensäure Oxal- oder Zitronensäure.

Die Atmungsenergie verschiedener Pflanzenteile unter gleichen äußeren Bedingungen (spezifische Atmungsenergie) ist durchaus nicht die nämliche. Im allgemeinen atmen z. B. Keimpflanzen und Blüten energisch, ausgewachsene Blätter sowie Fruchtkörper mancher Hutpilze erheblich schwächer. Der Atmungsquotient $\frac{CO_2}{O}$ ist vielfach ungefähr $= 1$; häufig, z. B. bei der Keimung fettreicher Samen, oder dann, wenn neben CO_2 größere Quantitäten sich anhäufender organischer Säuren als Atmungsprodukte entstehen, sinkt er bedeutend unter 1 herab, weil mehr O aufgenommen als CO_2 produziert wird. Der Quotient kann aber auch größer als 1 werden; bei der Atmung von Penicillium, wenn man dem Pilze Weinsäure zur Ernährung darbietet, z. B. auf fast 3 steigen, weil die Säure sehr reich an Sauerstoff ist (Puriewitsch).

In einem Gasgemisch, welches nur 1 Proz. O enthält, produzieren die Pflanzen weniger CO_2 als in gewöhnlicher Luft (letztere $^1/_5$ Atmosphäre Partiärdruck des O). Höhere Sauerstoffpressung bis 5 Atm. Partiärdruck des O (reiner O unter einem Druck von 5 Atm., Luft bei einem Druck von 25 Atm.) ruft zunächst eine oft nur schwache Steigerung, bei längerer Versuchsdauer aber eine Verminderung der Produktion an CO_2 hervor. Erhöhung der Atmungstätigkeit der Pflanzen kann auch durch traumatische sowie chemische Reizung erzielt werden. Die Atmung beginnt bei Temperaturen etwas unter 0° C. Das Temperaturoptimum für die Atmung liegt bei 40° C oder etwas höheren Wärmegraden. Beleuchtungsverhältnisse beeinflussen die Atmungstätigkeit direkt höchstens in einzelnen Fällen etwas. Der indirekte Einfluß der Beleuchtung auf die Atmung ist dagegen ein sehr großer, so daß z. B. grüne Pflanzen, die, nachdem sie zunächst normalen Verhältnissen ausgesetzt waren, und dann im Finstern reichliche Kohlensäuremengen ausgeben, nach längerer Verdunkelung nur noch schwach atmen. Im Licht wird ja durch Assimilation dasjenige Material produziert, welches schließlich zur Veratmung

gelangt. Wenn es nicht gelingt, an stark assimilierenden Pflanzen Kohlensäureabgabe nachzuweisen, so darf daraus nicht auf Mangel der Atmung geschlossen werden. Im Licht erfolgt die Atmung vielmehr ebenso energisch wie im Dunkeln; es wird aber bei Lichtzutritt die im Atmungsprozeß erzeugte CO_2 sogleich wieder im Assimilationsvorgange zersetzt.

Alle Zellen unterhalten, wenn sie dem Einfluß des molekularen Sauerstoffs entzogen werden, z. B. in eine Wasserstoffatmosphäre gelangen, intramolekulare oder innere Atmung.

Die höheren Pflanzen oder isolierte Teile derselben produzieren bei intramolekularer Atmung Kohlensäure, deren Menge nur in seltenen Fällen ebenso groß ist wie bei normaler Atmung, Alkohol und einige andere Produkte. Die Zellen der höheren Gewächse vermögen unter Umständen lange im sauerstofffreien Raum zu leben. Sie sind aber unter den bezeichneten Bedingungen nicht im stande zu wachsen und sterben auch nach längerer oder kürzerer Zeit ab (obligate Aëroben). Das Temperaturoptimum für die Kohlensäureproduktion bei innerer Atmung liegt bei 40° C.

In allen Gewächsen findet bei Ausschluß des freien Sauerstoffes ebenso wie bei Luftzutritt die Dissoziation der physiologischen Elemente in stickstoffhaltige und stickstofffreie Produkte statt. Letztere werden bei Luftabschluß weiter dissoziert unter Bildung von Kohlensäure, Alkohol etc.

Die Zellen vieler Pilze verhalten sich, wenn sie intramolekulare Atmung zur Geltung bringen, genau so wie diejenigen höherer Gewächse. Sie vermögen bei Sauerstoffmangel auch nicht zu wachsen. Anderes Verhalten zeigt Saccharomyces cerevisiae. Wenn dieser Pilz normal ernährt wird, produziert er sowohl bei Zutritt als auch bei Ausschluß des freien Sauerstoffes neben Kohlensäure Alkohol (alkoholische Gärung). Die Alkoholbildung ist bei Sauerstoffmangel lebhafter als bei Sauerstoffzutritt. Wachstum und Vermehrung der Zellen findet auch, was besonders beachtenswert ist, bei Luftzutritt sowie bei Luftabschluß (in letzterem Falle in vermindertem Maße) statt. Neben den Hauptgärungsprodukten (CO_2 und C_2H_6O) entstehen noch Bernsteinsäure, Glycerin etc. in geringer Menge. Saccharomyces gehört zu den fakultativen Anaëroben. Man darf sich vorstellen, daß der Pilz, gerade so wie z. B. höhere Pflanzen, bei Sauerstoffzutritt normale Atmung unterhält. Wenn trotzdem die Gegenwart des Sauerstoffes die Gärung nicht ausschließt, so hat dies seinen Grund darin, daß der Pilz immer Zymase erzeugen kann, welche den dargebotenen Zucker (die Hefe kann nur gewisse Zuckerarten, Rohrzucker erst nach der Invertierung durch Invertin verarbeiten) zerspaltet. Bei Sauerstoffzutritt unterhält der Pilz, wie gesagt, überdies normale Atmung; seine Gärtätigkeit wird daher etwas eingeschränkt.

Die Aëroben produzieren nur bei Sauerstoffabwesenheit Zymase (Stoklasa) und daher auch nur unter dieser Bedingung Alkohol. Die Alkoholbildung erfolgt stets intracellular. Sollten sich die Erfahrungen von Stoklasa nicht oder nicht in weiterem Umfange bestätigen, dann würde die intramolekulare Atmung der Aëroben durch weiteren Zerfall der stickstofffreien Dissoziationsprodukte der lebendigen Eiweißmoleküle zu stande kommen.

Verschiedene Spaltpilze, namentlich gewisse Buttersäurebakterien, haben sich den besonderen Lebensbedingungen, unter denen sie existieren, derartig angepaßt, daß sie zu obligaten Anaëroben geworden sind.

Gegenwart molekularen Sauerstoffs schädigt sie; der gesamte Kreislauf ihres Lebens, Ernährung, Wachstum, Vermehrung, erfolgt in normaler Weise nur bei Sauerstoffausschluß. Dabei zerspalten sie die ihnen dargebotenen organischen Substanzen, zumal Dextrose, leicht unter Bildung von Buttersäure etc., während als Produkte intramolekularer Atmung Kohlensäure und Wasserstoff entstehen.

Endlich sei hier noch bemerkt, daß Schwefelbakterien wahrscheinlich die organische Substanz ihres Körpers überhaupt nicht veratmen, sondern die für ihr Leben erforderlichen Betriebskräfte, z. B. durch Oxydation von H_2S produzieren, wobei S und schließlich SO_3 entstehen (Winogradsky, Nathansohn).

(Pflüger, Archiv für die gesamte Physiologie, 1875, Bd. 10; Detmer, Pringsheims Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik, Bd. 12, und Ber. der Deutschen bot. Gesellschaft, Bd. 10; Amm, Pringsheims Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik, Bd. 25; Pfeffer, Untersuchungen aus dem bot. Institut zu Tübingen, Bd. 1; Wortmann, Arbeiten des bot. Instituts in Würzburg, Bd. 2; Bonnier et Mangin, Annal. d. sc. nat., Sér. 6, T. 19, Sér. 7, T. 2; A. Mayer, Lehrbuch der Gärungschemie, 1895; Pasteur, Compt. rend., 1861, 1863, 1872, 1875; Lechartier et Bellamy, Compt. rend., T. 1869, 1875, 1879; Aereboe in Wollnys Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik, Bd. 16; Godlewski, Bulletin de l'Académie des sciences de Cracovie. 1901 u. 1904; Jacobi, Flora, 1899.)

116. Experimente zur allgemeinen Orientierung.

a) Die Pflanze nimmt bei normaler Atmung Sauerstoff auf und produziert Kohlensäure. Zwei Glascylinder von etwa 7 cm Durchmesser und 1000—1200 ccm Inhalt werden aufgestellt. Der eine Cylinder bleibt leer; der andere wird bis zur Hälfte mit Blüten oder einige Tage alten Keimpflanzen (Weizen, Erbsen, Bohnen) angefüllt. Die mit Glasstöpseln oder Körken verschlossenen Gefäße bleiben einige Stunden lang ruhig stehen. Nach Verlauf dieser Zeit führen wir in die Cylinder ein an einem Draht befestigtes, brennendes Licht ein. Dasselbe wird in dem mit Pflanzen beschickten Cylinder erlöschen; in dem anderen brennt es ruhig weiter. Die atmenden Pflanzen haben den Sauerstoff der Luft im Apparat verbraucht und dafür Kohlensäure erzeugt, welche den Verbrennungsprozeß nicht zu unterhalten im stande ist.

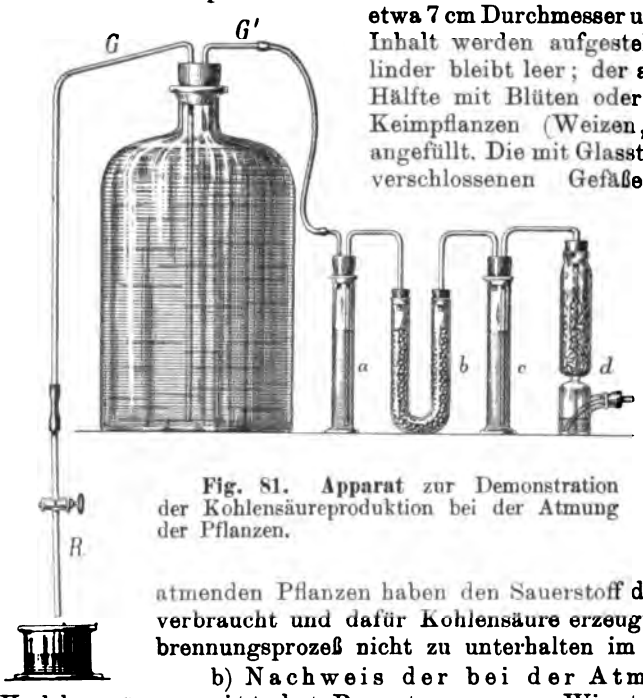


Fig. 81. Apparat zur Demonstration der Kohlensäureproduktion bei der Atmung der Pflanzen.

b) Nachweis der bei der Atmung erzeugten Kohlensäure mittelst Barytwassers. Wir stellen den in Fig. 81 abgebildeten Apparat zusammen. Die mit Wasser angefüllte Flasche von

etwa 10 l Inhalt dient als Aspirator. Der Kork, welcher die Mündung der Flasche verschließt, ist doppelt durchbohrt. In der einen Bohrung steckt das Rohr *G*, welches mit dem, mit einem Glashahn versehenen Glasrohr *R* in Verbindung steht. Vor Beginn des Versuchs werden die Röhren *G* und *R* mit Wasser angefüllt. Das Rohr *G'* ist mit den Apparaten *a*, *b*, *c* und *d* in Verbinduug gesetzt. Die Cylinder *a* und *c*, jeder von 120 ccm Inhalt, enthalten klares Barytwasser. Man übergießt Barythydrat in einer größeren Flasche mit destilliertem Wasser, schüttelt wiederholt tüchtig um, läßt absetzen und bringt eine hinreichende Menge der klaren Flüssigkeit, mit Hülfe einer gut ausgetrockneten Pipette in die völlig trockenen Cylinder *a* und *c*. In der U-förmigen Röhre *b*, von etwa 15 cm Höhe und 20 mm lichtem Durchmesser befinden sich die atmenden Pflanzenteile (Blüten oder Keimlinge). Der untere Teil des Gefäßes *d* enthalt Kalilauge, der obere Aetzkalistücke. Oeffnen wir sogleich nach Zusammenstellung des Apparates den Glashahn der Röhre *R* wenig, so fließt Wasser aus dem Rohr *R* ab, und den ganzen Apparat passiert ein Luftstrom. Die Luft wird in *d* von Kohlensäure befreit. Das Barytwasser in *c* bleibt daher klar. In *a* entsteht dagegen sehr schnell eine Trübung des Barytwassers, resp. ein Niederschlag von kohlensaurem Baryt, womit die Kohlensäureproduktion der Untersuchungsobjekte nachgewiesen ist.

c) Demonstration des Sauerstoffverbrauches bei normaler Atmung. In einem Holzgestell hängen 2 röhrenartige Gefäße, die am unteren Ende in Wasser eintauchen, das sich in den Gläsern *G* und *G'* befindet (Fig. 82). Der dünnere, etwa 45 cm lange und 15 mm weite Teil dieser Gefäße *A* und *B* ist bis auf 0,2 ccm genau kalibriert, er erweitert sich oben in den 30 cm langen und 40 mm weiten Teil *W* und *W'* der Apparate. In den sorgfältig ausgewählten, sehr gut schließenden, durchbohrten Kautschukkörken stecken die mit Glashähnen versehenen Glasröhren *h* und *h'*. Das kleine, recht weite Gläschen des einen Apparates hängt an einem Draht und enthält völlig klare Kalilauge (1 Teil Aetzkali und 2 Teile destilliertes Wasser). Wir bringen in jeden Apparat 25 Erbsenkeimlinge, die 3 Tage alt sind. Sie finden auf feuchter Glaswolle im oberen, erweiterten Teil *W* und *W'* der Glasröhrchen ihren Platz. Man stellt die Apparate in einem Raum von recht konstanter Temperatur auf, saugt etwas Wasser in den Röhren *A* und *B* empor, schließt die wohleingefetteten Hähne und wartet etwa $^1/_2$ Stunde lang, bevor man den Stand des Wassers in den Röhren *A* und *B* abliest. Man notiert ferner die am Thermometer *T* abgelesene Temperatur. Arbeitet man z. B. mit 25 Erbsenkeimlingen, die aus großen Samen erwachsen sind, so kann das Wasser in dem mit Kalilauge beschickten Apparat im Laufe von 20—24 Stunden bei 15° C um etwa 40 cm steigen. Im Apparat ohne Kalilauge verändert sich der Wasserstand bei nahezu konstant bleibender Tempe-

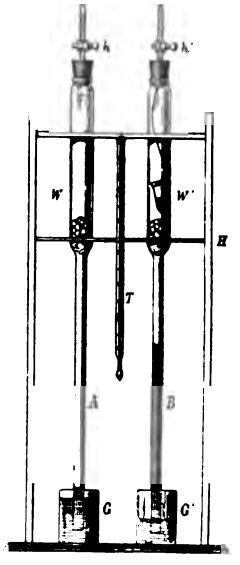


Fig. 82. Apparat für Experimente über Pflanzenatmung.

ratur dagegen nur wenig, weil die im Atmungsprozeß erzeugte Kohlensäure der Hauptsache nach an Stelle des verbrauchten Sauerstoffs tritt, und die bei der Atmung stärkereichen Untersuchungsmaterials produzierte Kohlensäuremenge dem Volumen nach der aufgenommenen Sauerstoffquantität ungefähr gleichkommt. Bei Kaligegenwart muß das Wasser emporsteigen, denn die von den Pflanzen produzierte Kohlensäure wird schnell absorbiert und ersetzt den konsumierten Sauerstoff nicht.

d) Fettreiche Samen absorbieren bei der Atmung dem Volumen nach weit mehr Sauerstoff, als sie Kohlensäure produzieren. 5 g lufttrockene Weizenkörner und 5 g Raps- oder Rübsamen bleiben 15 Stunden lang zum Quellen mit Wasser in Berührung. Der eine der Apparate (Fig. 82) wird mit den Weizenkörnern, der andere mit den fettreichen Samen beschickt. Das Untersuchungsmaterial ruht auf feuchter Glaswolle. In beide Apparate hängen wir Gläschen mit Kalilauge hinein, saugen das Wasser in *A* und *B* etwas empor, schließen die Hähne *h* und *h'* und lesen nach $^1/_2$ Stunde den Wasserstand und die Temperatur ab. Nach 24 Stunden, wenn die Temperatur wieder dieselbe ist, wie bei Beginn des Versuches, erfolgt erneute Ablesung des Wasserstandes in *A* und *B*. Das Wasser ist in dem mit den Weizenkörnern beschickten Apparat natürlich emporgestiegen. Im anderen Apparat hat sich die Flüssigkeit aber viel beträchtlicher erhoben. Die fettreichen Samen unterhalten freilich ebenso wie die stärkereichen normale Atmung; zugleich bringen die ersteren indessen noch jene Atmungsform bei der Keimung zur Geltung, welche man als Vinkulationsatmung bezeichnen kann. Das Wesen derselben besteht in einer Sauerstoffabsorption, ohne entsprechende Kohlensäurebildung, und der gebundene Sauerstoff findet zur Ueberführung des Fettes in sauerstoffreichere Körper (Kohlenhydrate) Verwendung. Oeffnet man die Apparate nun, um neuen Sauerstoff in dieselben eintreten zu lassen, und schließt sie wieder, so kann ein zweiter Versuch mit dem bereits benutzten Untersuchungsmaterial beginnen.

Fig. 83.

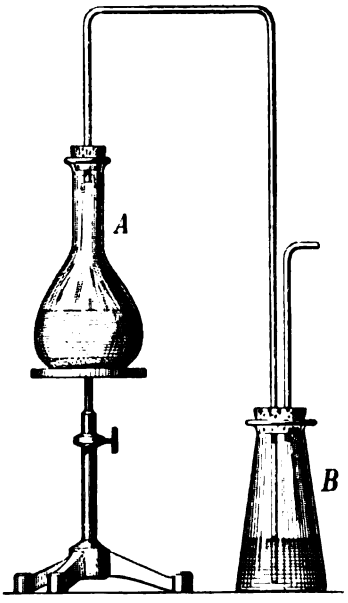


Fig. 84.

Fig. 83. Apparat zur Demonstration der Kohlensäureproduktion bei der Gärung.
Fig. 84. Kühnesches Gärungsgefäß.

e) Bei Sauerstoffabwesenheit unterhalten die Pflanzen intramolekulare Atmung und produzieren dabei Kohlensäure. Wir füllen den oberen Teil eines unserer Apparate (Fig. 82) völlig mit Blüten (Rosa oder Dahlia etc.), oder mit Keimlingen von Vicia Faba an, wir saugen das Wasser bis zu bedeutender Höhe empor, schließen den Glashahn und

lassen die Vorrichtung ruhig stehen. Die Untersuchungsobjekte unterhalten zunächst normale Atmung; bald aber ist der Sauerstoff der Luft im Apparat verbraucht, und nun macht sich selbst bei etwas sinkender Temperatur ein Fallen der Wassersäule geltend. Die Pflanzenteile produzieren infolge intramolekularer oder innerer Atmung im sauerstofffreien Raum Kohlensäure. Dadurch wird das Gasvolumen im Apparat vergrößert, und das Wasser im Rohr hinabgedrückt.

f) Kohlensäureproduktion bei der Gärung. Wir bringen in den Kolben *A* (Fig. 83) 200 ccm Pasteursche Nährlösung (vergl. unter 23) und fügen derselben 10 g Preßhefe hinzu. Alsbald beginnt die Gärung. Die entweichende Kohlensäure kann durch das in dem Gefäß *B* vorhandene, klare Kalk- oder Barytwasser als solche nachgewiesen werden (über Bereitung des Barytwasser vergleiche unter 117).

In einen Glascylinder von etwa 1000 ccm Inhalt bringen wir 200 ccm Pasteursche Nährlösung, die mit 10 g Preßhefe versetzt worden ist. Die Oeffnung des Cylinders verschließen wir nicht luftdicht mit einem Kork und lassen den Apparat einige Stunden lang ruhig stehen. Die Gärung ist eingetreten, und es hat sich eine so große Kohlensäuremenge über der Flüssigkeit im Cylinder angesammelt, daß die Flamme eines an einem Draht in denselben eingeführten Lichtes sofort erlischt.

Auch unter Benutzung des Kühneschen Gärungsgefäßes (Fig. 84) kann man sich leicht von der Kohlensäurebildung bei der Gärung überzeugen. Das Rohr des Apparates wird völlig mit Pateurscher Nährlösung angefüllt, während die Kugel frei davon bleibt. Wir bringen nun ein Hefekügelchen in die Flüssigkeit. Infolge der alsbald beginnenden Kohlensäureentwickelung wird die Nährlösung aus dem Rohr in die Kugel des Apparates gedrängt. Wenn man dann ein Stückchen Aetzkali in denselben einführt, so steigt die Flüssigkeit, da eine Absorption der Kohlensäure erfolgt, wieder in das Rohr zurück.

117. Methode zur Bestimmung der bei intramolekularer und normaler Atmung der Pflanzen produzierten Kohlensäure.

In Fig. 85 ist ein Apparat abgebildet, der bequem bei Untersuchungen über Kohlensäureproduktion infolge intramolekularer Atmung

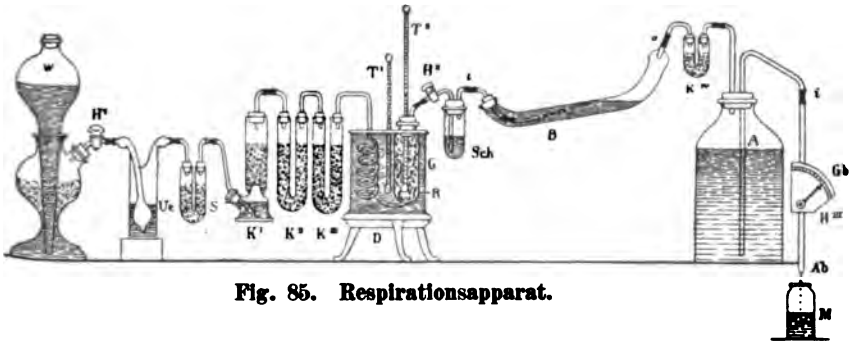


Fig. 85. Respirationsapparat.

der Pflanzen Verwendung finden kann. Wir wollen hier zunächst diesen Apparat näher kennen lernen. Die bei Experimenten über normale Atmung zu benutzende Vorrichtung ist eine weit einfachere.

Bei der Ausführung der Untersuchungen handelt es sich darum, über das Beobachtungsmaterial einen kohlensäurefreien Wasserstoffstrom hinzuleiten und die von den Pflanzen bei Sauerstoffausschluß produzierte

Kohlensäure ihrer Quantität nach festzustellen. Die Geschwindigkeit des Wasserstoffstromes kann leicht mit Hülfe des Aspirators *A* reguliert werden. Man kann ja die in dem Cylinder *M* abfließende Wassermenge z. B. von 10 zu 10 Minuten messen und den Glashahn H^{III} so regulieren, daß z. B. pro Stunde 3 *l* Wasser abfließen. Behufs genauer Einstellung ist der Glashahn H^{III} mit einer lang ausgezogenen Spitze versehen, die vor dem Gradbogen *Gb* spielt. Wenn das Wasserniveau im mindestens 15—20 *l* Wasser fassenden Aspirator *A* erheblich sinkt und dadurch eine Verminderung der Stromgeschwindigkeit zu stande kommt, so muß der Hahn H^{III} häufiger verstellt werden. Es ist daher vorteilhaft, den Aspirator stets möglichst mit Wasser angefüllt zu benutzen, zumal die Füllung durch Verbindung des Abflußrohres (an der Stelle *i*) mit der Wasserleitung mittelst eines Gummischlauches sehr bequem uud schnell vor jedem Versuch bewirkt werden kann. Auch die Benutzung recht großer Aspiratorgefäße, z. B. großer Säureballons, ist sehr empfehlenswert.

Das Wasserstoffgas wird im großen Kippschen Apparat *W* aus chemisch reinem, arsenfreiem Zink und arsenfreier Salzsäure (1 Teil Wasser und 1 Teil Säure) entwickelt. Um sicher jede Spur für die Pflanzen schädlicher Beimengungen zu beseitigen, passiert das Gas die Waschfläche *Ue*, welche eine Lösung von Kaliumpermanganat enthält, und das mit Bimssteinstückchen, die mit einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd getränkt sind, angefüllte U-Rohr *S*. Der Inhalt dieser Vorlagen ist häufiger zu erneuern. Indem das Wasserstoffgas, das unten mit Kalilauge (1 Teil Aetzkali und 2 Teile Wasser), oben mit Aetzkalistückchen angefüllte Absorptionsgefäß K^{I} sowie die mit Kalilauge getränkten Bimssteinstückchen in den U-Röhren K^{II} und K^{III} durchströmt, wird es jeder Spur von Kohlensäure beraubt. Zwischen K^{III} und dem Schlangenrohr des die Pflanzen enthaltenden Respirationsgefäßes *R* wird noch eine kleine, als Sperrventil dienende und wenig konzentrierte Schwefelsäure enthaltende Flasche eingeschaltet. Dies Ventil, ebenso beschaffen wie das Ventil *Sch* und in der Abbildung nicht dargestellt, macht einen, übrigens ohnedies kaum stattfindenden Rücktritt von Kohlensäure aus dem Schlangenrohr in K^{III} absolut unmöglich. Beide Ventile können auch fehlen.

Das zur Aufnahme der Untersuchungsobjekte bestimmte Gefäß besitzt je nach Bedürfnis einen Inhalt von 200—400 ccm und läuft unten in ein Schlangenrohr aus, welches neben dem eigentlichen Respirationsraum *R* in die Höhe steigt. Dieses letztere ist oben durch einen doppelt durchbohrten Kautschukkork verschlossen. In der einen Bohrung steckt das Thermometer T^{II}, in der anderen ein im stumpfen Winkel gebogenes Glasrohr. Das Thermometer, in Zehntel-Grade geteilt, besitzt zweckmäßig einen langen, cylindrischen Quecksilberbehälter, der sich inmitten der Versuchspflanzen befindet. Der Nullpunkt der Thermometerskala muß über dem Kautschukkork liegen, damit sichere Ablesungen möglich sind, wenn man bei niederer Temperatur arbeitet. Auf den Grund des Respirationsgefäßes bringt man etwas angefeuchtete Glaswolle und auf diese das Pflanzenmaterial, eventuell im benetzten Zustande.

Das Respirationsgefäß findet in einem mit Wasser angefüllten, mit Holzdeckel versehenen und auf einem Dreifuß *D* stehenden tönernen Umhüllungsgefäß *G* Platz. Durch Zugießen von warmem oder kaltem Wasser, oder durch Erwärmen des Wassers mittelst einer Gasflamme kann die Temperatur der Flüssigkeit, welche das Thermometer T^{I} anzeigt, und somit auch diejenige der Untersuchungsobjekte in *R* reguliert werden.

Der gereinigte und kohlensäurefreie Wasserstoff wird in dem Schlangenrohr auf die Temperatur des Wassers gebracht, durchstreicht den Pflanzenbehälter dann von unten nach oben, tritt in das mit wenig konzentrierter Schwefelsäure beschickte Sperrventil *Sch* ein und gibt die von den Untersuchungsobjekten produzierte Kohlensäure in dem mit 75 ccm Barytwasser gefüllten Pettenkoferschen Barytrohr *B* ab. Das Sperrventil hat den Zweck, den Uebertritt von Luft in den Respirationsraum unmöglich zu machen; dieser letztere kann übrigens noch durch den Hahn H^{II} gegen das Ventil hin völlig abgesperrt werden. Am zweckmäßigsten ist es, das Ventil völlig fortzulassen und nur den Hahn H^{II} sowie einen am Schlangenrohr angebrachten Hahn (dieser letztere ist nicht gezeichnet) zu benutzen, um den Respirationsraum, z. B. beim Wechseln der Barytröhren, abzusperren. Auch gewöhnliche Quetschhähne leisten für den bezeichneten Zweck gute Dienste. Die Röhre K^{IV}, welche Aetzkalistückchen enthält, hat den Zweck, den Uebertritt von kohlensäurehaltiger Luft aus dem Aspirator in die Barytröhre auszuschließen.

Soll ein Experiment über intramolekulare Atmung angestellt werden, so leitet man zunächst eine Stunde lang einen kräftigen Wasserstoffstrom durch den vorderhand bei *l* geöffneten Apparat. Dann wird die Verbindung zwischen *l* und *o* mittelst eines Glasrohres hergestellt und unter Benutzung des Aspirators weiter $^1/_2$—1 Stunde lang Wasserstoffgas durchgeleitet. Die Temperaturverhältnisse in *R* und die Stromgeschwindigkeit (3 *l* pro Stunde) sind dabei sorgsam zu regulieren. Erst jetzt, nachdem, wie die eingehende Prüfung der Untersuchungsmethode gelehrt hat, der Sauerstoff verdrängt ist, schaltet man zwischen *l* und *o* die Barytröhre ein; nach Verlauf je einer Stunde werden neue Röhren vorgelegt.

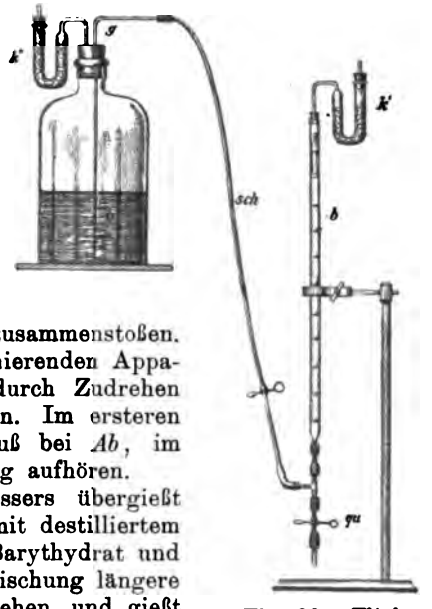


Fig. 86. Titrierapparat.

Absolut luftdichter Schluß aller Teile des Apparates ist natürlich Hauptbedingung für das gute Gelingen der Experimente. Man benutze nur sorgsam ausgewählte Kautschukkörke und -schläuche (letztere gut eingefettet), wohleingeschliffene Glashähne und achte darauf, daß die Glasröhren an den Verbindungsstellen mit ihren Enden zusammenstoßen. Von dem guten Schluß des funktionierenden Apparates kann man sich dann leicht durch Zudrehen der Hähne H^{I} oder H^{II} überzeugen. Im ersteren Falle muß alsbald der Wasserabfluß bei *Ab*, im letzteren die Wasserstoffentwickelung aufhören.

Zur Herstellung des Barytwassers übergießt man Barythydrat und Chlorbarium mit destilliertem Wasser (auf je 1 l Wasser 21 g Barythydrat und 3 g Chlorbarium). Man läßt die Mischung längere Zeit unter häufigem Umschütteln stehen und gießt in die hochgestellte Flasche (Fig. 86) ab. Diese Flasche faßt etwa 10 l Flüssigkeit. Das mit Kalistückchen angefüllte Rohr *k''* dient dazu, das klare Barytwasser vor Kohlensäureaufnahme zu schützen. Das Barytwasser kann in die Bürette *b*, welche am oberen Ende das Kalirohr *k'* trägt, abgelassen werden, und

von der Bürette aus erfolgt endlich das Füllen der gut gereinigten und vollkommen trockenen Pettenkoferschen Barytröhren. Den Inhalt dieser Röhren bringt man bei Abschluß jedes Versuches schnell in lange, wohlverschließbare Cylindergläser und nach dem Absetzen des Niederschlages werden von der darüberstehenden wasserklaren Flüssigkeit mit Hülfe einer Pipette 2mal 25 ccm zum Titrieren abgehoben. Hierbei (ebenso natürlich auch beim Titrieren des ursprünglichen Barytwassers) kommt eine Oxalsäurelösung in Anwendung, die im Liter 2,8636 g kristallisierte Säure enthält und von der 1 ccm 1 mg CO_2 entspricht. Die Oxalsäurelösung wird aus einer mit Schwimmer versehenen Bürette zu dem Barytwasser gelassen. Als Indikator dienen stets einige Tropfen einer Phenolphtaleinlösung (100 ccm Alkohol und 0,5 g Phenolphtalein). Die Methode gestattet es, die Kohlensäure sehr genau zu bestimmen. Ueberhaupt ist die Untersuchungsmethode von mir und meinen Schülern mehrfach nach verschiedenen Richtungen hin auf ihre Brauchbarkeit geprüft worden, und es haben sich dabei sehr befriedigende Resultate ergeben. Zu beachten bleibt aber, daß die Resultate der Beobachtungen, wenn man dieselben in angegebener Weise anstellt, stets etwas zu hoch ausfallen. Experimentiert man nämlich mit dem Apparat ohne Pflanzenmaterial, so findet man demnach, daß der Titer des Barytwassers sich geändert hat. Diese Aenderung, auf eine Stunde und 75 ccm Barytwasser bezogen, entspricht einer Kohlensäuremenge von 0,5—1 mg. Der Versuchsfehler, dessen Höhe bei den Respirationsversuchen häufiger in angegebener Weise festzustellen ist, kann in manchen Fällen völlig vernachlässigt werden, da tatsächlich sehr oft die aus der Individualität der untersuchten Pflanzen entspringenden Differenzen in der Kohlensäureproduktion sogar noch größer ausfallen.

Handelt es sich bei Respirationsversuchen darum, nicht die Kohlensäureproduktion bei intramolekularer, sondern bei normaler Atmung festzustellen, so arbeitet man ebenfalls mit unserem Apparat. Es werden nur der Kippsche Apparat, die Waschflache mit Kaliumpermanganat und das U-Rohr mit Höllensteinlösung ausgeschaltet. Experimentiert man mit leicht welkenden Pflanzenteilen (z. B. Kronenblättern oder zarten Blüten), dann empfiehlt es sich, die Luft, bevor sie in das Schlangenrohr eintritt, ein Gefäß passieren zu lassen, welches feuchte Glaswolle enthält. Man leitet bei Ausführung der Versuche zunächst $1^1/_2$—2 Stunden Luft mit Hülfe des Aspirators durch den Apparat (3 l pro Stunde). Dann hat die Luft im Respirationsraum bezüglich ihres Kohlensäuregehaltes sicher einen stationären Zustand angenommen. Jetzt schaltet man die erste Barytröhre ein, nach einer Stunde die zweite und so fort. Um sicher zu sein, daß beim Vorlegen der Barytröhre keine Kohlensäure aus dem Respirationsraum entweicht, tut man gut, den Glashahn H^I (das Sperrventil *Sch* kann fehlen) und einen zweiten, am oberen Ende des Schlangenrohres anzubringenden Glashahn (oder Quetschhahn) zu schließen, wenn eine neue Röhre eingeschaltet werden soll.

Mit Bezug auf Untersuchungen, die den Zweck haben, das Verhältnis der Kohlensäureproduktion bei innerer und normaler Atmung $\left(\frac{J}{N}\right)$ für ein gegebenes Pflanzenmaterial unter übrigens gleichen Bedingungen festzustellen, ist folgendes zu bemerken. Wir stellen den gesamten Apparat zusammen; nur der Kippsche Apparat bleibt fort. Haben wir $1^1/_2$ Stunde unter Benutzung des Aspirators Luft durchgeleitet, so beginnt die Feststellung der bei normaler Atmung produzierten Kohlen-

säure. Nach 1 oder 2 Stunden schalten wir dann den Kippschen Apparat ein, leiten 1 Stunde lang einen starken Wasserstoffstrom, dann 1 Stunde lang mit Benutzung des Aspirators 3 l H über die Pflanzen und legen zur Ermittelung der bei intramolekularer Atmung produzierten Kohlensäure eine Baryröhre vor. Schließlich wird der Wasserstoff durch Luft verdrängt, um abermals die Höhe der normalen Atmung zu konstatieren.

118. Kohlensäureproduktion bei normaler und intramolekularer Atmung der Pflanzen.

a) Spezifische Atmungsenergie. Nach den im vorigen Abschnitt gegebenen Darstellungen wird es nicht gar zu schwierig sein, bei Untersuchungen über die normale Atmung der Pflanzen zu richtigen Resultaten zu gelangen. Zur Uebung in der Benutzung der Methode bringe man z. B. 25 g frischer Blumenblätter von Rosa oder einer anderen Pflanze in das Respirationsgefäß und ermittele, wieviel Kohlensäure dieselben pro Stunde bei einer Temperatur von 20° C produzieren. Die Resultate der einzelnen Experimente werden bei sorgsamer Arbeit nur ganz kleine Differenzen (etwa 1 mg) zeigen. Man kann sich auch leicht davon überzeugen, daß die Blütenteile der Pflanzen im allgemeinen unter übrigens gleichen Umständen lebhafter atmen, als die Vegetationsorgane, z. B. die Laubblätter. Vor Beginn jeder Versuchsreihe ist ca. $1^1/_2$ Stunde lang Luft durch den zusammengestellten Apparat zu leiten. Dauer eines jeden Experimentes z. B. 2 Stunden. Folgende völlig entwickelten Pflanzenteile geben z. B., auf 1 Stunde und 100 g Lebendgewicht bezogen, bei ca. 19,5° C CO_2: Blüten von Salvia pratensis 44 mg, Blumenblätter von Rosa 40 mg, Laubblätter von Calendula officinalis 34 mg, Fruchtkörper von Cantharellus cibarius 27 mg, blütentragende Stengel von Monotropa 12 mg. Mehr, als seither geschehen, ist der Einfluß traumatischer Reize auf die Atmung zu beachten.

b) Temperatureinfluß. Viele Lupinensamen einquellen. Nach 24 Stunden gelangen die Samen in lockeren, feuchten Sägespänen bei

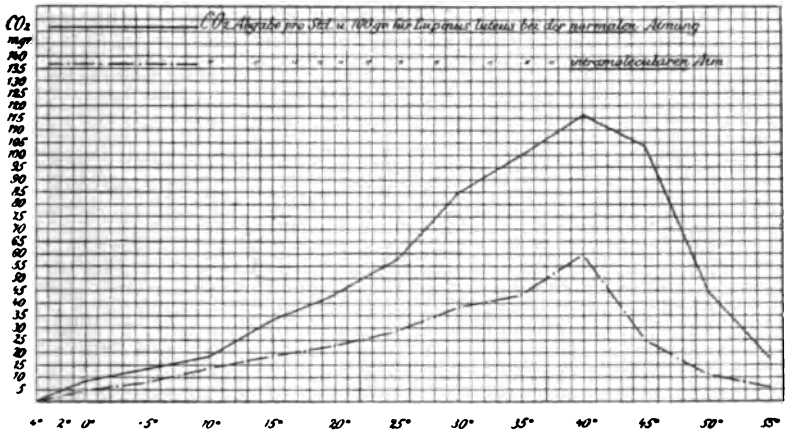


Fig. 87. Atmungskurven. (Nach Amm.)

ca. 20° C zum Keimen. Man benutzt die Keimlinge im Alter von 4 bis 5 Tagen. Länge des Hypokotyls ca. 2 cm. Wurzellänge etwas bedeutender. 50 g der frischen, vorsichtig mit Fließpapier gereinigten

Keimlinge gelangen in das Respirationsgefäß. Man leitet $1^1/_2$ Stunde lang Luft durch den Apparat, schaltet ein Barytrohr ein und ersetzt dasselbe nach 2 Stunden durch ein neues Rohr. Die Untersuchungsobjekte liefern, auf 1 Stunde und 100 g Lebendgewicht bezogen, bei 15° C z. B. 34 mg, bei 25° C 59 mg, bei 35° C 100 mg CO_2 (vergl. die obere Kurve in Fig. 87 und die früher zitierte Abhandlung von Amm). Die Keimlinge, welche zu den einzelnen Versuchen bei verschiedenen Temperaturen dienen, müssen natürlich sehr gleichartig entwickelt sein. Man kann auch an demselben Tage mit den nämlichen Keimlingen bei verschiedener Temperatur experimentieren.

c) Kohlensäureproduktion getöteter Pflanzenteile. 50 g 4—5 Tage alter Lupinenkeimlinge werden nach der unter b angegebenen Methode bei 20° C auf ihre normale Atmung untersucht. Dann erwärmt man die Keimlinge im Respirationsgefäß 2 Stunden lang in einem Trockenschrank bei 100° C. Die Keimlinge sind stets feucht zu erhalten; der Apparat ist mit sterilisierter Watte zu verschließen. Nach erfolgter Abkühlung schaltet man das Respirationsgefäß wieder ein, leitet 1 Stunde lang Luft durch und legt ein Barytrohr vor. Die Kohlensäureabgabe der getöteten Pflanzenteile ist = 0 oder höchstens minimal. Die bereits früher angegebenen Fehlerquellen der Methode sind hier natürlich zu berücksichtigen.

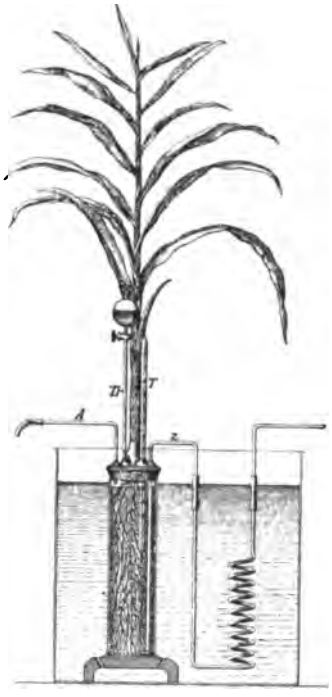


Fig. 88. Apparat für Experimente über die Atmung der Wurzeln.

d) Experimente mit Wasserpflanzen. Als Respirationsraum dient ein Glasgefäß von ca. 1500 ccm Inhalt. Im sehr gut schließenden Gummikork derselben steckt ein Thermometer, ein Gasableitungsrohr und ein Gaszuleitungsrohr. Die Luft, welche in das letztere eintrat, hatte zunächst zur Vorwärmung ein in dem Wasser eines Umhüllungsgefäßes ruhendes Schlangenrohr zu passieren. In das Respirationsgefäß gelangen 100 ccm ausgekochten und wieder abgekühlten, destillierten Wassers. Man bringt ca. 100 g frischer Elodeasprosse in das Wasser, leitet nach Zusammenstellung des gesamten Respirationsapparates (vergl. unter 117) 12 Stunden lang einen langsamen Luftstrom, dann 2 Stunden lang einen schnelleren (3 l pro Std.) durch denselben und schaltet eine Barytröhre ein. 100 g Elodeasprosse produzieren in 3 Stunden bei 20° etwa 15 mg Kohlensäure. Lichtwirkung ist bei den Versuchen, wie überhaupt immer, natürlich auszuschließen.

e) Experimente über die Atmung der Wurzeln. Wir experimentieren zweckmäßig mit Maispflanzen, die mit Hülfe der Methode der Wasserkultur zu kräftiger Entwickelung gebracht worden sind. Ein größerer Glascylinder findet in einem Wasserkasten Platz und wird mit Nährstofflösung angefüllt (vergl. Fig. 88). Der zum Verschluß der Oeffnung des Cylinders dienende halbierte Kork kann

so weit eingeschoben werden, daß von seiner Oberfläche bis zum Rande des Kulturgefäßes noch ein Raum von ca. 3 cm Höhe bleibt. Der Kork hat fünf Bohrungen, eine für die Pflanze (z. B. Mais), eine für das Thermometer *T*, eine für das mit Glashahn versehene Trichterrohr *Tr*, durch welches der Nährlösung nach Bedürfnis ausgekochtes destilliertes Wasser zugeführt werden kann, eine für das mit Schlangenrohr versehene Gaszuleitungsrohr *Z* und eine für Gasableitungsrohr *A*. Zur Herstellung eines völlig luftdichten Verschlusses füllt man den Raum über dem Kork mit einer bei relativ niederer Temperatur (ca. 40° C) schmelzenden Mischung, aus Wachs, Olivenöl und Hammeltalg bestehend, aus. Die Regulierung der Temperaturverhältnisse der Nährlösung, in welche die Pflanzenwurzeln eintauchen, macht keine besonderen Schwierigkeiten, da das Kulturgefäß ja in dem großen Wasserkasten steht. Für Verdunkelung der Wurzeln ist zu sorgen; die oberirdischen Teile des Untersuchungsobjektes können dem Licht ausgesetzt bleiben. Vor Beginn eines jeden Versuches leitet man, ohne zunächst die Kohlensäureproduktion der Wurzeln zu bestimmen, längere Zeit (etwa 4 Stunden lang) Luft durch die Nährlösung. Da der Widerstand dieser letzteren recht erheblich ist, muß der Luftstrom stets ziemlich kräftig sein (ca. 8—10 l pro Stunde). Als Aspirator verwendet man eine sehr große Flasche. Das Wurzelsystem der in der Fig. 88 abgebildeten großen, normal vegetierenden Maispflanze produzierte in je 2 Stunden bei 20° C 80 mg CO_2. Wenn das Untersuchungsobjekt nur ab und an zur Bestimmung der Kohlensäureproduktion benutzt wird, so muß in der Zwischenzeit stets Luft durch die Nährlösung geleitet werden, damit die Wurzeln keinen Sauerstoffmangel leiden.

f) Indirekte Beeinflussung der normalen Atmung durch die Beleuchtungsverhältnisse. Indirekt übt das Licht einen bedeutsamen Einfluß auf die Pflanzenatmung aus, indem unter Vermittelung desselben infolge der Assimilation diejenigen Stoffe erzeugt werden, welche bei der Atmung eine Oxydation erfahren. Um diese Tatsachen festzustellen, kultivieren wir Keimlinge von Lupinus bei Lichtzutritt in Blumentöpfen. Sind die Pflanzen einige Wochen alt, so schneiden wir von 25 recht gleichförmig entwickelten Pflanzen die Stengel dicht über dem Boden ab und stellen die Kohlensäure fest, welche sie bei 20° C in 2 Stunden produzieren. Die Töpfe gelangen jetzt ins Dunkle. Nach 2—3 Tagen prüfen wir abermals 25 Pflanzen auf ihre Atmungsgröße. Nun werden die Pflanzen in den Kulturgefäßen wieder normal beleuchtet, um 25 Exemplare nach 4 Tagen wieder auf ihre Kohlensäureproduktion zu untersuchen. Eine von Aereboe unter meiner Leitung ausgeführte Versuchsreihe lieferte folgende Resultate: Je 25 Pflanzen produzierten in 2 Stunden bei 20° C CO_2

6. August,	abends	18,35 mg	(beleuchtet gewesen),
9.	„	„	7,95 „	($2^1/_2$ Tage verdunkelt),
13.	„	„	18,72 „	(vom 9.—13 August beleuchtet).

g) Intramolekulare und normale Atmung. Wir experimentieren genau nach der auf S. 137 angegebenen Methode. Temperatur 20° C. Untersuchungsobjekte z. B. 6 Tage alte Lupinenkeimlinge, 50 Stück; Kohlensäureabgabe pro Stunde und 100 Stück Keimlinge in mg bei normaler Atmung ca. 25 mg, bei intramolekularer Atmung ca. 15 mg N : J dann = 0,600.

Keimlinge gelangen in das Respirationsgefäß. Man leitet $1^1/_2$ Stunde lang Luft durch den Apparat, schaltet ein Barytrohr ein und ersetzt dasselbe nach 2 Stunden durch ein neues Rohr. Die Untersuchungsobjekte liefern, auf 1 Stunde und 100 g Lebendgewicht bezogen, bei 15° C z. B. 34 mg, bei 25° C 59 mg, bei 35° C 100 mg CO_2 (vergl. die obere Kurve in Fig. 87 und die früher zitierte Abhandlung von Ahn). Die Keimlinge, welche zu den einzelnen Versuchen bei verschiedenen Temperaturen dienen, müssen natürlich sehr gleichartig entwickelt sein. Man kann auch an demselben Tage mit den nämlichen Keimlingen bei verschiedener Temperatur experimentieren.

c) Kohlensäureproduktion getöteter Pflanzenteile. 50 g 4—5 Tage alter Lupinenkeimlinge werden nach der unter b angegebenen Methode bei 20° C auf ihre normale Atmung untersucht. Dann erwärmt man die Keimlinge im Respirationsgefäß 2 Stunden lang in einem Trockenschrank bei 100° C. Die Keimlinge sind stets feucht zu erhalten; der Apparat ist mit sterilisierter Watte zu verschließen. Nach erfolgter Abkühlung schaltet man das Respirationsgefäß wieder ein, leitet 1 Stunde lang Luft durch und legt ein Barytrohr vor. Die Kohlensäureabgabe der getöteten Pflanzenteile ist = 0 oder höchstens minimal. Die bereits früher angegebenen Fehlerquellen der Methode sind hier natürlich zu berücksichtigen.

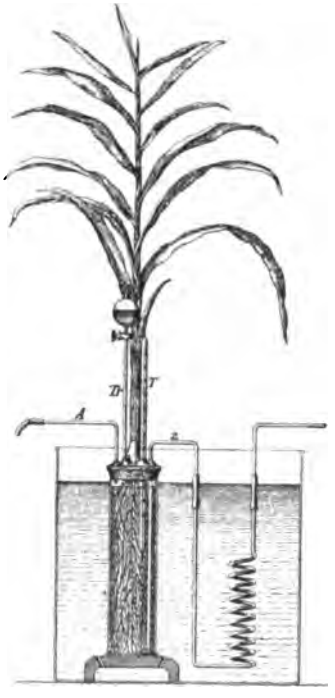


Fig. 88. Apparat für Experimente über die Atmung der Wurzeln.

d) Experimente mit Wasserpflanzen. Als Respirationsraum dient ein Glasgefäß von ca. 1500 ccm Inhalt. Im sehr gut schließenden Gummikork derselben steckt ein Thermometer, ein Gasableitungsrohr und ein Gaszuleitungsrohr. Die Luft, welche in das letztere eintrat, hatte zunächst zur Vorwärmung ein in dem Wasser eines Umhüllungsgefäßes ruhendes Schlangenrohr zu passieren. In das Respirationsgefäß gelangen 100 ccm ausgekochten und wieder abgekühlten, destillierten Wassers. Man bringt ca. 100 g frischer Elodeasprosse in das Wasser, leitet nach Zusammenstellung des gesamten Respirationsapparates (vergl. unter 117) 12 Stunden lang einen langsamen Luftstrom, dann 2 Stunden lang einen schnelleren (3 l pro Std.) durch denselben und schaltet eine Barytröhre ein. 100 g Elodeasprosse produzieren in 3 Stunden bei 20° etwa 15 mg Kohlensäure. Lichtwirkung ist bei den Versuchen, wie überhaupt immer, natürlich auszuschließen.

e) Experimente über die Atmung der Wurzeln. Wir experimentieren zweckmäßig mit Maispflanzen, die mit Hülfe der Methode der Wasserkultur zu kräftiger Entwickelung gebracht worden sind. Ein größerer Glascylinder findet in einem Wasserkasten Platz und wird mit Nährstofflösung angefüllt (vergl. Fig. 88). Der zum Verschluß der Oeffnung des Cylinders dienende halbierte Kork kann

so weit eingeschoben werden, daß von seiner Oberfläche bis zum Rande des Kulturgefäßes noch ein Raum von ca. 3 cm Höhe bleibt. Der Kork hat fünf Bohrungen, eine für die Pflanze (z. B. Mais), eine für das Thermometer *T*, eine für das mit Glashahn versehene Trichterrohr *Tr*, durch welches der Nährlösung nach Bedürfnis ausgekochtes destilliertes Wasser zugeführt werden kann, eine für das mit Schlangenrohr versehene Gaszuleitungsrohr *Z* und eine für Gasableitungsrohr *A*. Zur Herstellung eines völlig luftdichten Verschlusses füllt man den Raum über dem Kork mit einer bei relativ niederer Temperatur (ca. 40° C) schmelzenden Mischung, aus Wachs, Olivenöl und Hammeltalg bestehend, aus. Die Regulierung der Temperaturverhältnisse der Nährlösung, in welche die Pflanzenwurzeln eintauchen, macht keine besonderen Schwierigkeiten, da das Kulturgefäß ja in dem großen Wasserkasten steht. Für Verdunkelung der Wurzeln ist zu sorgen; die oberirdischen Teile des Untersuchungsobjektes können dem Licht ausgesetzt bleiben. Vor Beginn eines jeden Versuches leitet man, ohne zunächst die Kohlensäureproduktion der Wurzeln zu bestimmen, längere Zeit (etwa 4 Stunden lang) Luft durch die Nährlösung. Da der Widerstand dieser letzteren recht erheblich ist, muß der Luftstrom stets ziemlich kräftig sein (ca. 8—10 l pro Stunde). Als Aspirator verwendet man eine sehr große Flasche. Das Wurzelsystem der in der Fig. 88 abgebildeten großen, normal vegetierenden Maispflanze produzierte in je 2 Stunden bei 20° C 80 mg CO_2. Wenn das Untersuchungsobjekt nur ab und an zur Bestimmung der Kohlensäureproduktion benutzt wird, so muß in der Zwischenzeit stets Luft durch die Nährlösung geleitet werden, damit die Wurzeln keinen Sauerstoffmangel leiden.

f) Indirekte Beeinflussung der normalen Atmung durch die Beleuchtungsverhältnisse. Indirekt übt das Licht einen bedeutsamen Einfluß auf die Pflanzenatmung aus, indem unter Vermittelung desselben infolge der Assimilation diejenigen Stoffe erzeugt werden, welche bei der Atmung eine Oxydation erfahren. Um diese Tatsachen festzustellen, kultivieren wir Keimlinge von Lupinus bei Lichtzutritt in Blumentöpfen. Sind die Pflanzen einige Wochen alt, so schneiden wir von 25 recht gleichförmig entwickelten Pflanzen die Stengel dicht über dem Boden ab und stellen die Kohlensäure fest, welche sie bei 20° C in 2 Stunden produzieren. Die Töpfe gelangen jetzt ins Dunkle. Nach 2—3 Tagen prüfen wir abermals 25 Pflanzen auf ihre Atmungsgröße. Nun werden die Pflanzen in den Kulturgefäßen wieder normal beleuchtet, um 25 Exemplare nach 4 Tagen wieder auf ihre Kohlensäureproduktion zu untersuchen. Eine von Aereboe unter meiner Leitung ausgeführte Versuchsreihe lieferte folgende Resultate: Je 25 Pflanzen produzierten in 2 Stunden bei 20° C CO_2

6. August, abends 18,35 mg (beleuchtet gewesen),
9. „ „ 7,95 „ ($2^1/_2$ Tage verdunkelt),
13. „ „ 18,72 „ (vom 9.—13 August beleuchtet).

g) Intramolekulare und normale Atmung. Wir experimentieren genau nach der auf S. 137 angegebenen Methode. Temperatur 20° C. Untersuchungsobjekte z. B. 6 Tage alte Lupinenkeimlinge, 50 Stück; Kohlensäureabgabe pro Stunde und 100 Stück Keimlinge in mg bei normaler Atmung ca. 25 mg, bei intramolekularer Atmung ca. 15 mg N:J dann = 0,600.

Keimlinge gelangen in das Respirationsgefäß. Man leitet $1^1/_2$ Stunde lang Luft durch den Apparat, schaltet ein Barytrohr ein und ersetzt dasselbe nach 2 Stunden durch ein neues Rohr. Die Untersuchungsobjekte liefern, auf 1 Stunde und 100 g Lebendgewicht bezogen, bei 15° C z. B. 34 mg, bei 25° C 59 mg, bei 35° C 100 mg CO_2 (vergl. die obere Kurve in Fig. 87 und die früher zitierte Abhandlung von Ahn). Die Keimlinge, welche zu den einzelnen Versuchen bei verschiedenen Temperaturen dienen, müssen natürlich sehr gleichartig entwickelt sein. Man kann auch an demselben Tage mit den nämlichen Keimlingen bei verschiedener Temperatur experimentieren.

c) Kohlensäureproduktion getöteter Pflanzenteile. 50 g 4—5 Tage alter Lupinenkeimlinge werden nach der unter b angegebenen Methode bei 20° C auf ihre normale Atmung untersucht. Dann erwärmt man die Keimlinge im Respirationsgefäß 2 Stunden lang in einem Trockenschrank bei 100° C. Die Keimlinge sind stets feucht zu erhalten; der Apparat ist mit sterilisierter Watte zu verschließen. Nach erfolgter Abkühlung schaltet man das Respirationsgefäß wieder ein, leitet 1 Stunde lang Luft durch und legt ein Barytrohr vor. Die Kohlensäureabgabe der getöteten Pflanzenteile ist = 0 oder höchstens minimal. Die bereits früher angegebenen Fehlerquellen der Methode sind hier natürlich zu berücksichtigen.

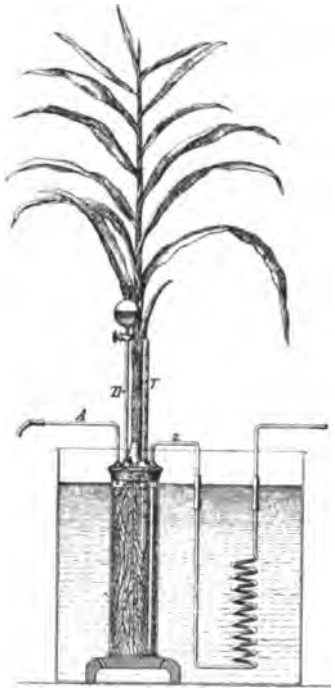


Fig. 88. Apparat für Experimente über die Atmung der Wurzeln.

d) Experimente mit Wasserpflanzen. Als Respirationsraum dient ein Glasgefäß von ca. 1500 ccm Inhalt. Im sehr gut schließenden Gummikork derselben steckt ein Thermometer, ein Gasableitungsrohr und ein Gaszuleitungsrohr. Die Luft, welche in das letztere eintrat, hatte zunächst zur Vorwärmung ein in dem Wasser eines Umhüllungsgefäßes ruhendes Schlangenrohr zu passieren. In das Respirationsgefäß gelangen 100 ccm ausgekochten und wieder abgekühlten, destillierten Wassers. Man bringt ca. 100 g frischer Elodeasprosse in das Wasser, leitet nach Zusammenstellung des gesamten Respirationsapparates (vergl. unter 117) 12 Stunden lang einen langsamen Luftstrom, dann 2 Stunden lang einen schnelleren (3 l pro Std.) durch denselben und schaltet eine Barytröhre ein. 100 g Elodeasprosse produzieren in 3 Stunden bei 20° etwa 15 mg Kohlensäure. Lichtwirkung ist bei den Versuchen, wie überhaupt immer, natürlich auszuschließen.

e) Experimente über die Atmung der Wurzeln. Wir experimentieren zweckmäßig mit Maispflanzen, die mit Hülfe der Methode der Wasserkultur zu kräftiger Entwickelung gebracht worden sind. Ein größerer Glascylinder findet in einem Wasserkasten Platz und wird mit Nährstofflösung angefüllt (vergl. Fig. 88). Der zum Verschluß der Oeffnung des Cylinders dienende halbierte Kork kann

so weit eingeschoben werden, daß von seiner Oberfläche bis zum Rande des Kulturgefäßes noch ein Raum von ca. 3 cm Höhe bleibt. Der Kork hat fünf Bohrungen, eine für die Pflanze (z. B. Mais), eine für das Thermometer *T*, eine für das mit Glashahn versehene Trichterrohr *Tr*, durch welches der Nährlösung nach Bedürfnis ausgekochtes destilliertes Wasser zugeführt werden kann, eine für das mit Schlangenrohr versehene Gaszuleitungsrohr *Z* und eine für Gasableitungsrohr *A*. Zur Herstellung eines völlig luftdichten Verschlusses füllt man den Raum über dem Kork mit einer bei relativ niederer Temperatur (ca. 40° C) schmelzenden Mischung, aus Wachs, Olivenöl und Hammeltalg bestehend, aus. Die Regulierung der Temperaturverhältnisse der Nährlösung, in welche die Pflanzenwurzeln eintauchen, macht keine besonderen Schwierigkeiten, da das Kulturgefäß ja in dem großen Wasserkasten steht. Für Verdunkelung der Wurzeln ist zu sorgen; die oberirdischen Teile des Untersuchungsobjektes können dem Licht ausgesetzt bleiben. Vor Beginn eines jeden Versuches leitet man, ohne zunächst die Kohlensäureproduktion der Wurzeln zu bestimmen, längere Zeit (etwa 4 Stunden lang) Luft durch die Nährlösung. Da der Widerstand dieser letzteren recht erheblich ist, muß der Luftstrom stets ziemlich kräftig sein (ca. 8—10 l pro Stunde). Als Aspirator verwendet man eine sehr große Flasche. Das Wurzelsystem der in der Fig. 88 abgebildeten großen, normal vegetierenden Maispflanze produzierte in je 2 Stunden bei 20° C 80 mg CO_2. Wenn das Untersuchungsobjekt nur ab und an zur Bestimmung der Kohlensäureproduktion benutzt wird, so muß in der Zwischenzeit stets Luft durch die Nährlösung geleitet werden, damit die Wurzeln keinen Sauerstoffmangel leiden.

f) Indirekte Beeinflussung der normalen Atmung durch die Beleuchtungsverhältnisse. Indirekt übt das Licht einen bedeutsamen Einfluß auf die Pflanzenatmung aus, indem unter Vermittelung desselben infolge der Assimilation diejenigen Stoffe erzeugt werden, welche bei der Atmung eine Oxydation erfahren. Um diese Tatsachen festzustellen, kultivieren wir Keimlinge von Lupinus bei Lichtzutritt in Blumentöpfen. Sind die Pflanzen einige Wochen alt, so schneiden wir von 25 recht gleichförmig entwickelten Pflanzen die Stengel dicht über dem Boden ab und stellen die Kohlensäure fest, welche sie bei 20° C in 2 Stunden produzieren. Die Töpfe gelangen jetzt ins Dunkle. Nach 2—3 Tagen prüfen wir abermals 25 Pflanzen auf ihre Atmungsgröße. Nun werden die Pflanzen in den Kulturgefäßen wieder normal beleuchtet, um 25 Exemplare nach 4 Tagen wieder auf ihre Kohlensäureproduktion zu untersuchen. Eine von Aereboe unter meiner Leitung ausgeführte Versuchsreihe lieferte folgende Resultate: Je 25 Pflanzen produzierten in 2 Stunden bei 20° C CO_2

6. August, abends 18,35 mg (beleuchtet gewesen),
9. „ „ 7,95 „ ($2^1/_2$ Tage verdunkelt),
13. „ „ 18,72 „ (vom 9.—13 August beleuchtet).

g) Intramolekulare und normale Atmung. Wir experimentieren genau nach der auf S. 137 angegebenen Methode. Temperatur 20° C. Untersuchungsobjekte z. B. 6 Tage alte Lupinenkeimlinge, 50 Stück; Kohlensäureabgabe pro Stunde und 100 Stück Keimlinge in mg bei normaler Atmung ca. 25 mg, bei intramolekularer Atmung ca. 15 mg N:J dann = 0,600.

Keimlinge gelangen in das Respirationsgefäß. Man leitet $1^1/_2$ Stunde lang Luft durch den Apparat, schaltet ein Barytrohr ein und ersetzt dasselbe nach 2 Stunden durch ein neues Rohr. Die Untersuchungsobjekte liefern, auf 1 Stunde und 100 g Lebendgewicht bezogen, bei 15° C z. B. 34 mg, bei 25° C 59 mg, bei 35° C 100 mg CO_2 (vergl. die obere Kurve in Fig. 87 und die früher zitierte Abhandlung von Amm). Die Keimlinge, welche zu den einzelnen Versuchen bei verschiedenen Temperaturen dienen, müssen natürlich sehr gleichartig entwickelt sein. Man kann auch an demselben Tage mit den nämlichen Keimlingen bei verschiedener Temperatur experimentieren.

c) Kohlensäureproduktion getöteter Pflanzenteile. 50 g 4—5 Tage alter Lupinenkeimlinge werden nach der unter b angegebenen Methode bei 20° C auf ihre normale Atmung untersucht. Dann erwärmt man die Keimlinge im Respirationsgefäß 2 Stunden lang in einem Trockenschrank bei 100° C. Die Keimlinge sind stets feucht zu erhalten; der Apparat ist mit sterilisierter Watte zu verschließen. Nach erfolgter Abkühlung schaltet man das Respirationsgefäß wieder ein, leitet 1 Stunde lang Luft durch und legt ein Barytrohr vor. Die Kohlensäureabgabe der getöteten Pflanzenteile ist = 0 oder höchstens minimal. Die bereits früher angegebenen Fehlerquellen der Methode sind hier natürlich zu berücksichtigen.

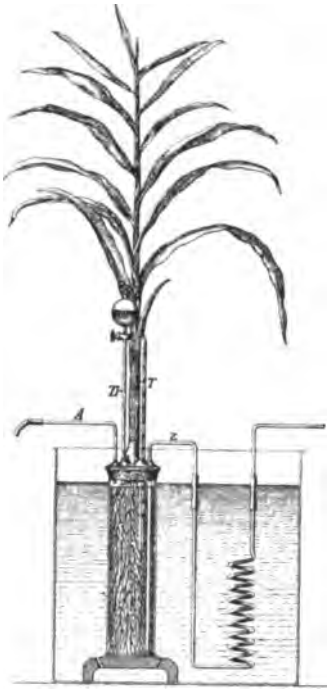


Fig. 88. Apparat für Experimente über die Atmung der Wurzeln.

d) Experimente mit Wasserpflanzen. Als Respirationsraum dient ein Glasgefäß von ca. 1500 ccm Inhalt. Im sehr gut schließenden Gummikork derselben steckt ein Thermometer, ein Gasableitungsrohr und ein Gaszuleitungsrohr. Die Luft, welche in das letztere eintrat, hatte zunächst zur Vorwärmung ein in dem Wasser eines Umhüllungsgefäßes ruhendes Schlangenrohr zu passieren. In das Respirationsgefäß gelangen 100 ccm ausgekochten und wieder abgekühlten, destillierten Wassers. Man bringt ca. 100 g frischer Elodeasprosse in das Wasser, leitet nach Zusammenstellung des gesamten Respirationsapparates (vergl. unter 117) 12 Stunden lang einen langsamen Luftstrom, dann 2 Stunden lang einen schnelleren (3 l pro Std.) durch denselben und schaltet eine Barytröhre ein. 100 g Elodeasprosse produzieren in 3 Stunden bei 20° etwa 15 mg Kohlensäure. Lichtwirkung ist bei den Versuchen, wie überhaupt immer, natürlich auszuschließen.

e) Experimente über die Atmung der Wurzeln. Wir experimentieren zweckmäßig mit Maispflanzen, die mit Hülfe der Methode der Wasserkultur zu kräftiger Entwickelung gebracht worden sind. Ein größerer Glascylinder findet in einem Wasserkasten Platz und wird mit Nährstofflösung angefüllt (vergl. Fig. 88). Der zum Verschluß der Oeffnung des Cylinders dienende halbierte Kork kann

so weit eingeschoben werden, daß von seiner Oberfläche bis zum Rande des Kulturgefäßes noch ein Raum von ca. 3 cm Höhe bleibt. Der Kork hat fünf Bohrungen, eine für die Pflanze (z. B. Mais), eine für das Thermometer *T*, eine für das mit Glashahn versehene Trichterrohr *Tr*, durch welches der Nährlösung nach Bedürfnis ausgekochtes destilliertes Wasser zugeführt werden kann, eine für das mit Schlangenrohr versehene Gaszuleitungsrohr *Z* und eine für Gasableitungsrohr *A*. Zur Herstellung eines völlig luftdichten Verschlusses füllt man den Raum über dem Kork mit einer bei relativ niederer Temperatur (ca. 40° C) schmelzenden Mischung, aus Wachs, Olivenöl und Hammeltalg bestehend, aus. Die Regulierung der Temperaturverhältnisse der Nährlösung, in welche die Pflanzenwurzeln eintauchen, macht keine besonderen Schwierigkeiten, da das Kulturgefäß a in dem großen Wasserkasten steht. Für Verdunkelung der Wurzeln ist zu sorgen; die oberirdischen Teile des Untersuchungsobjektes können dem Licht ausgesetzt bleiben. Vor Beginn eines jeden Versuches leitet man, ohne zunächst die Kohlensäureproduktion der Wurzeln zu bestimmen, längere Zeit (etwa 4 Stunden lang) Luft durch die Nährlösung. Da der Widerstand dieser letzteren recht erheblich ist, muß der Luftstrom stets ziemlich kräftig sein (ca. 8—10 l pro Stunde). Als Aspirator verwendet man eine sehr große Flasche. Das Wurzelsystem der in der Fig. 88 abgebildeten großen, normal vegetierenden Maispflanze produzierte in je 2 Stunden bei 20° C 80 mg CO_2. Wenn das Untersuchungsobjekt nur ab und an zur Bestimmung der Kohlensäureproduktion benutzt wird, so muß in der Zwischenzeit stets Luft durch die Nährlösung geleitet werden, damit die Wurzeln keinen Sauerstoffmangel leiden.

f) Indirekte Beeinflussung der normalen Atmung durch die Beleuchtungsverhältnisse. Indirekt übt das Licht einen bedeutsamen Einfluß auf die Pflanzenatmung aus, indem unter Vermittelung desselben infolge der Assimilation diejenigen Stoffe erzeugt werden, welche bei der Atmung eine Oxydation erfahren. Um diese Tatsachen festzustellen, kultivieren wir Keimlinge von Lupinus bei Lichtzutritt in Blumentöpfen. Sind die Pflanzen einige Wochen alt, so schneiden wir von 25 recht gleichförmig entwickelten Pflanzen die Stengel dicht über dem Boden ab und stellen die Kohlensäure fest, welche sie bei 20° C in 2 Stunden produzieren. Die Töpfe gelangen jetzt ins Dunkle. Nach 2—3 Tagen prüfen wir abermals 25 Pflanzen auf ihre Atmungsgröße. Nun werden die Pflanzen in den Kulturgefäßen wieder normal beleuchtet, um 25 Exemplare nach 4 Tagen wieder auf ihre Kohlensäureproduktion zu untersuchen. Eine von Aereboe unter meiner Leitung ausgeführte Versuchsreihe lieferte folgende Resultate: Je 25 Pflanzen produzierten in 2 Stunden bei 20° C CO_2

6. August, abends 18,35 mg (beleuchtet gewesen),
9. „ „ 7,95 „ ($2^1/_2$ Tage verdunkelt),
13. „ „ 18,72 „ (vom 9.—13 August beleuchtet).

g) Intramolekulare und normale Atmung. Wir experimentieren genau nach der auf S. 137 angegebenen Methode. Temperatur 20° C. Untersuchungsobjekte z. B. 6 Tage alte Lupinenkeimlinge, 50 Stück; Kohlensäureabgabe pro Stunde und 100 Stück Keimlinge in mg bei normaler Atmung ca. 25 mg, bei intramolekularer Atmung ca. 15 mg N : J dann = 0,600.

119. Sauerstoffaufnahme bei der Atmung.

Wir benutzen den folgenden von DESAGA in Heidelberg zu beziehenden Apparat (Fig. 89). Derselbe besteht aus einem dickwandigen Glascylinder mit horizontalem Boden. Höhe des Cylinders 29 cm. Weite im Lichten 10 cm. Der sehr gut eingeschliffene Glasstöpsel des Apparats hat eine Bohrung, in welche das mit dem Ansatzrohr und dem Glashahn *h* versehene Glasrohr *G* eingesetzt werden kann. Der ca. 25 cm lange und 12 mm weite Teil *G'* dieses Glasrohres ist kalibriert und bis auf 0,2 ccm geteilt. Im Glascylinder hängt das vernickelte Drahtnetz *S*. Das untere Ende des Rohres *G'* taucht in Quecksilber ein. Untersuchungsmaterial 10 gr 16 Stunden lang angequollene Weizenkörner. Wir bringen das Drahtnetz und 6 Scheiben trockenen Fließpapieres in den Apparat und ermitteln unter Benutzung von Wasser den Volumeninhalt des so beschickten Cylinders und des Glasrohres *G* bis zum Anfang der Teilung auf *G'*. Vom Volumeninhalt sind noch in Abzug zu bringen das Volumen von 10 g gequollener Weizenkörner, 20 ccm für Wasser, das zum Besprengen des Fließpapieres dient, und 20 ccm für Kalilauge (1 Aetzkali und 2 Gewt. Wasser), mit welcher der Boden des Cylinders bedeckt wird.

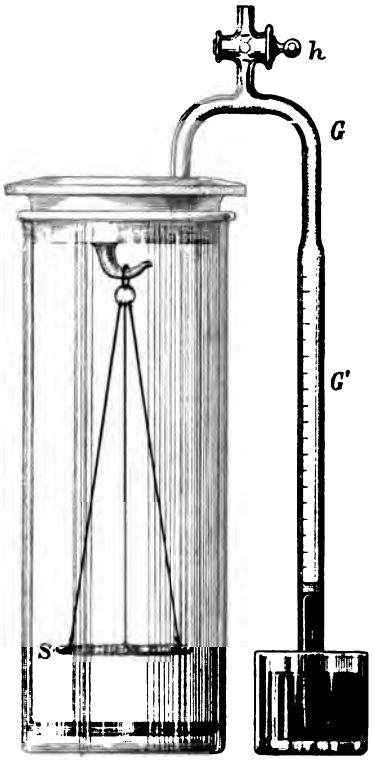


Fig. 89. Apparat zur Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs bei der Atmung.

Die Kalilauge muß völlig klar sein. Wir bringen die 10 g gequollener Weizenkörner zwischen das trockene Fließpapier, das auf dem Drahtnetz ruht, befeuchten mit 20 ccm Wasser, schließen den Apparat sehr sorgfältig nach Einfettung des Glasstöpsels und bringen mittelst einer gebogenen Glasröhre etwas Wasser über das Quecksilber im Rohrteil *G'*. Nun saugen wir das Quecksilber, indem wir den Hahn *h* öffnen, wenig in *G'* empor und schreiten nach $^1/_2$ Stunde zu den erforderlichen Ablesungen; Temperatur, Barometerstand, Höhe der Quecksilber- und Wassersäule in Millimeter (der Quecksilbermeniskus wird oben, der Wassermeniskus unten abgelesen, und es sind vom Gesamtvolumen daher noch 0,2 ccm als Meniskuskorrektur abzuziehen), Stand der Flüssigkeitssäule in *G'* (ccm). Die Ablesungen sind eventuell mittelst eines geeigneten Fernrohres vorzunehmen. Das Gasvolumen wird jetzt auf 0° C, 1000 mm Quecksilberdruck und den Zustand der Trockenheit reduziert. (Vergl. BUNSEN, Gasometrische Methoden, 1857, und HEMPEL, Gasometrische Methoden, 1890.)

$$v^1 = \frac{(v-m)\ (b-b^1-b^2)}{(1 + 0{,}00366\ t^0)}$$

v^1 ist das reduzierte Gasvolumen; v bezeichnet das abgelesene Gasvolumen, m die Meniskuskorrektion, b den Barometerstand, b^1 die für die Quecksilbersäule im Steigrohr abzuziehende Druckhöhe, b^2 die Tension des Wasserdampfes bei der Temperatur t^0.

Der Apparat, mit dem man genaue Untersuchungen ausführen kann, findet in einem nach Norden gelegenen Zimmer Platz, in welchem die Temperaturschwankungen an sich gering sind. Man könnte den ganzen Apparat eventuell auch in ein großes, mit Wasser angefülltes Gefäß stellen. Versuchsdauer 1—2 Tage; Temperatur ca. 20° C. Nach 1—2 Tagen erfolgen erneute Ablesungen. Die etwas umständlichen Berechnungen ergeben den Sauerstoffverbrauch. Man kann den Apparat öffnen und mit dem nämlichen Untersuchungsmaterial eine zweite Versuchsreihe beginnen.

Das zu verwendende Quecksilber muß recht rein sein. Die Reinigung mehrfach gebrauchten Quecksilbers wird in folgender Weise ausgeführt. Man übergießt das Metall in einer dickwandigen Flasche mit dem gleichen Volumen Wasser, fügt wenig Salpetersäure hinzu und schüttelt die Mischung $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde lang gut durch. Nun wäscht man mit Wasser sorgfältig aus. Eventuell sind diese Operationen noch einmal zu wiederholen. Schließlich trocknet man das Quecksilber mit Fließpapier ab, erwärmt es in einer Schale unter einem Abzug auf 120° C, bedeckt die Schale mit einem Bogen Papier und läßt abkühlen. Endlich wird das Metall noch durch Schreibpapier filtriert, das man mit einigen Nadelstichen versehen hat.

120. Gärungsversuche mit Saccharomyces cerevisiae.

a) Zersetzte Zuckermenge. Wir bereiten Pasteursche Nährlösung (vergl. unter 23). Zu 200 ccm derselben fügen wir 20 g reine Hefe. Gärung bei 20—25° C, 6, 12 oder 20 Stunden lang. Dann filtrieren wir die Flüssigkeit. Den Zuckergehalt des Filtrates und der ursprünglichen Pasteurschen Lösung bestimmen wir in der Art, daß wir 10 ccm der Flüssigkeiten so weit verdünnen, bis sie nur noch $^1/_4$—$^1/_2$ Proz. Zucker enthalten. Ist Rohrzucker zur Herstellung der Pasteurschen Lösung benutzt worden, so muß längere Zeit mit Salzsäure erhitzt werden. Die Zuckerbestimmungen sind dann leicht mit Hülfe Fehlingscher Flüssigkeit auszuführen (Näheres vergl. unter Rohrzucker- und Glykosebestimmung). Die gegorene Flüssigkeit ist vor Ausführung der Zuckerbestimmungen im verdünnten Zustande längere Zeit zu erhitzen, um den Alkohol zu verjagen. Mit fortschreitender Gährung vermindert sich der Zuckergehalt der Pasteurschen Lösung immer mehr.

b) Alkoholproduktion. 200 ccm Pasteursche Lösung werden mit 20 g Hefe versetzt. Nach 24 Stunden bringt man die nicht filtrierte Flüssigkeit in einen 400 ccm fassenden Kolben und unterwirft sie in bekannter Weise, unter Vorlegung eines von kaltem Wasser durchströmten Kühlers, der Destillation. Zur Vermeidung des Ueberschäumens der Flüssigkeit beim Erhitzen bringt man ein Stückchen Paraffin in dieselbe. Sind 100 ccm Flüssigkeit abdestilliert, so wird diese Flüssigkeitsmenge nochmals der Destillation unterzogen. Das resultierende Destillat riecht stark nach Alkohol und ist brennbar. (Ueber quantitative Alkoholbestimmungen vergl. König, Untersuchung landwirtschaftlich und gewerblich wichtiger Stoffe.)

c) Jodoformreaktion. Zur Orientierung über diese Reaktion werden 45 ccm Wasser mit 5 ccm Alkohol versetzt. Einige Kubikcentimeter

dieser Flüssigkeit erhitzt man im Reagensglas nach Zusatz einiger Jodkristalle schwach, bis die Lösung intensiv braun geworden ist. Man gießt sie dann ab, versetzt sie mit einigen Tropfen (nicht gar zu wenig) 20-proz. Kalilauge und erwärmt noch etwas. Beim Abkühlen tritt Jodoformgeruch der Flüssigkeit hervor, und es bildet sich ein gelber Niederschlag.

d) Anwendung der Jodoformreaktion. 200 ccm Pasteurscher Lösung mit 20 g Hefe versetzen. Gärung 16 Stunden lang bei 20—25° C. In 50 ccm der filtrierten Flüssigkeit kann man den Alkohol leicht mit Hülfe der Jodoformprobe nachweisen.

121. Anaëroben.

200 ccm Wasser werden mit 10 g Rohrzucker, 2 g Fleischextrakt und 2 g Pepton versetzt und durch kohlensaures Kali schwach alkalisch gemacht. Der mit Watteverschluß versehene Kolben bleibt 3 Tage lang bei 30° im Thermostaten stehen. Wird die Flüssigkeit im Laufe angegebener Zeit sauer, so versetzen wir sie wieder mit etwas kohlensaurem Kali. Massenhafte Bakterienentwickelung (Buttersäureorganismen) ist eingetreten. Nun bringen wir in einen Kolben von ca. 400 ccm Inhalt 250 ccm einer frisch bereiteten Lösung, die ebenso, wie die bereits erwähnte, zusammengesetzt ist und schwach alkalisch reagiert. Wir versetzen die Lösung mit wenig Indigokarmin, filtrieron nach 2 Stunden und fügen zu der in den Kolben zurückgebrachten blauen Lösung einen Tropfen der erwähnten bakterienhaltigen Flüssigkeit. Der Hals des Kolbens wird mit einem Kautschukkork, in welchem die Glasröhren *G* und *G'* (Fig. 90) stecken, verschlossen und 2 Stunden lang reiner Wasserstoff (vergl. unter 14 h) durch die Flüssigkeit geleitet. Dann taucht man das Ende des Rohres *G'* unter Quecksilber, schließt den Hahn und bringt den Apparat bei 30° C in einen Thermostaten. Alsbald entfärbt sich die Lösung. Nach 2 Tagen ist sie sehr trübe, weil sich trotz der Abwesenheit des Sauerstoffes viele Bakterien entwickelt haben. Leitet man nun Luft durch den Apparat, so nimmt die Flüssigkeit wieder eine bläuliche Farbe an. (Pfeffer.)

Fig. 91.

Fig. 90.

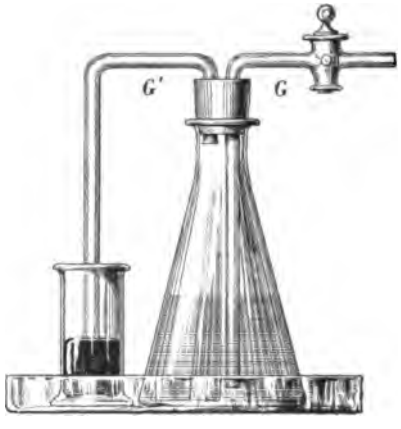


Fig. 90. Apparat zur Kultur anaërober Bakterien.
Fig. 91. Apparat zum Nachweis der Eigenwärme der Pflanzen.

122. Wärmeentwickelung und Phosphoreszenz.

a) Experimente mit Keimpflanzen. Eine erhebliche Anzahl Weizenkörner wird nach 12-stündigem Anquellen auf feuchtem

Fließpapier, welches in einer flachen Schale ruht, angekeimt. Dann bringt man die Keimlinge in einen Trichter von 150—200 ccm Kapazität und bedeckt sie mit Watte. Ein kleines Filter verhindert das Herabfallen der Keimlinge in die Trichterröhre. Der Trichter *T* (vergl. Fig. 91) ruht auf dem zur Absorption der Kohlensäure mit Kalilauge beschickten Glase *G*. Durch den Tubulus der den Apparat bedeckenden Glasglocke ist das Thermometer *Tm*, dessen Quecksilberbehälter von den Keimlingen umgeben wird, eingeführt. Ein zweiter Apparat wird ebenso wie der beschriebene hergestellt. Wir bringen aber auf den Trichter mit Wasser durchtränkte Fließpapierkügelchen. Die Thermometer sind genau verglichen worden. Nach einigen Stunden schreiten wir zu den ersten Ablesungen der Thermometer und wiederholen solche Ablesungen mehrfach an einem Tage. Wir finden, daß die Temperatur der Keimlinge 1—2° C höher ist, als diejenige der Papierkügelchen.

b) Blüten. Ein abgeschnittener Blütenstand der Sonnenblume wird mit der Basis in Wasser gestellt und nebst einem etwas Kalilauge enthaltenden Glase unter eine tubulierte Glasglocke gebracht. Ein Thermometer (*a*) ist mit seinem cylindrischen Quecksilberbehälter in den Blütenstand eingeführt. Unter eine zweite Glasglocke bringt man einen Trichter, der mit Watte angefüllt ist. Die Temperatur derselben wird durch ein zweites Thermometer (*b*) gemessen. Nach einiger Zeit zeigt das Thermometer *a* eine um 2—3° höhere Temperatur als das Thermometer *b* an.

c) Arum maculatum. Wenn man an die Keule eines Blütenstandes von Arum maculatum, dessen Spatha im Oeffnen begriffen ist, den cylindrischen Quecksilberbehälter eines Thermometers anlegt, so steigt das Quecksilber im Thermometer sogleich um 2—3° C.

Ein Blütenstand von Arum maculatum, dessen Spatha sich eben öffnet, wird abgeschnitten und mit der Basis in Wasser gestellt. Der cylindrische Quecksilberbehälter eines in einem Stativ befestigten empfindlichen Thermometers wird der Keule des Blütenstandes dicht angelegt. Thermometer und Keule umwickeln wir mit Watte. Ein dünner Gummiring hält alles zusammen. Zur Bestimmung der Lufttemperatur dient ein zweites, mit dem ersten verglichenes Thermometer, welches, mit Watte

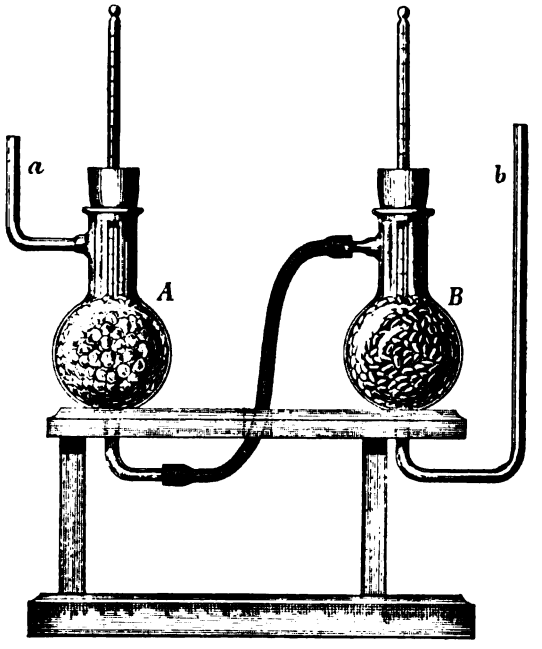


Fig. 92. Apparat zur Ermittelung der Wärmeentwickelung bei normaler und intramolekularer Atmung.

umwickelt, frei aufgehängt ist. Nach einigen Stunden z. B. Lufttemperatur 18°; Temperatur der Keule 26°.

d) Wärmeentwickelung bei normaler und intramolekularer Atmung. Zwei Kugelapparate von ungefähr 150 ccm Kapazität, die auf einem Holzstativ ruhen und deren Beschaffenheit aus Fig. 92 ersichtlich ist, werden mit genau verglichenen Thermometern versehen. Wir stellen die Vorrichtung in einen Kasten und umgeben sie mit Watte. Der Kugelapparat *A* wird mit feuchten Fließpapierkügelchen angefüllt, der Apparat *B* aber mit eben angekeimten Weizenkörnern. Das Glasrohr *b* wird nun mit einem Aspirator verbunden, um einen langsamen feuchten Luftstrom durch die mittelst eines Schlauches verbundenen Apparate zu leiten. Das Durchleiten der Luft setzen wir ca. 3 Stunden fort, dann leiten wir 1 Stunde lang reinen, feuchten Wasserstoff durch den Apparat (vergl. unter 14 h), schließen denselben mit Quetschhähnen ab, um nach Verlauf von 1—2 Stunden abermals mehrere Stunden feuchte Luft durchzuleiten. Temperaturdifferenz zwischen *A* und *B* bei innerer Atmung der Keimlinge einige Zehntelgrad C; bei normaler Atmung zu Beginn und bei Abschluß des Versuchs mehr als 1° C. (Erikson führte diesen Versuch zuerst aus.)

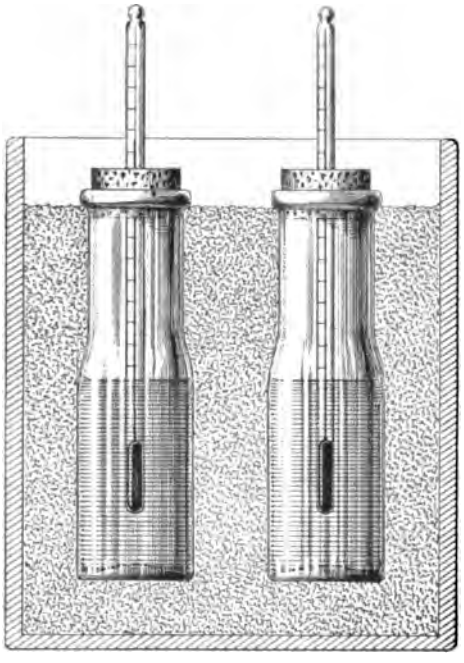


Fig. 93. Apparat zum Nachweis der Wärmeentwickelung bei der Gärung. Im Längsschnitt dargestellt.

e) Wärmeentwickelung bei der Gärung. 2 Glasflaschen von 500 ccm Kapazität werden mit je 300 ccm Pasteurscher Nährlösung angefüllt. Die eine Lösung versetzt man noch mit 100 g Preßhefe, die mit einem Teil der Flüssigkeit zu einem Brei angerührt worden ist. Durch die durchbohrten Korke der Gläser ragen Thermometer in die Flüssigkeit hinein. Beide Gefäße stehen, umgeben von Sägespänen, in einem Kasten (Fig. 93). Wir beobachten die Temperatur der Flüssigkeiten 2 Tage lang. Die Temperaturdifferenz der Lösungen steigt allmählich auf etwa 2° C, d. h. die gärende Flüssigkeit ist wärmer als die andere. Später nimmt die Temperaturdifferenz wieder ab. Der Apparat ist in einem nach Norden gelegenen Zimmer aufzustellen. In diesem Raum haben Kasten, Sägespäne, Wasser etc. bereits längere Zeit vor Beginn des Experimentes verweilt, um die Temperatur der Umgebung anzunehmen.

f) Phosphoreszenz der Pflanzen. Manche Peridineen des Meeres, Micrococcus phosphoreus auf in Zersetzung begriffenem Fleisch und Fischen, die Mycelmassen von Agaricus melleus (zumal in Wurzeln

und Stammteilen von Nadelhölzern vegetierend), Mycel von Xylaria hypoxylon (in Buchenstöcken) phosphoreszieren in einem bläulichen oder grünlichen Licht.

Nach Molisch soll man die Erscheinung leicht beobachten können, wenn frische Fleischstücke von ca. 5 cm Länge und einigen Centimetern Breite in sterilisierten, bedeckten Glasschalen mit 3-proz. Kochsalzlösung übergossen werden. Ein Teil der Fleischstücke muß aus der Flüssigkeit hervorragen. Temperatur 9—12° C. Nach 2 Tagen soll die Phosphoreszenz bereits eingetreten sein. (Molisch, Bot. Zeitung, 1903.)

Ludwig brachte die von dem Mycel der oben genannten Pilze infizierten Holzstücke, um die Phosphoreszenzerscheinung zu studieren, zunächst einen Tag lang in einen feuchten Keller und beobachtete das „Leuchtholz" erst dann genauer.

III. Die stickstofffreien plastischen Stoffe.

Die stickstoffhaltigen Dissoziationsprodukte der physiologischen Elemente können sich in den Pflanzen unter manchen Umständen in bedeutender Menge anhäufen. Solches ist z. B. in vielen Keimpflanzen und Sprossen, die sich im Dunkeln entwickeln, der Fall. Stehen aber reichliche Mengen stickstofffreier Körper zur Verfügung (Assimilate, Reservematerial, Nährstoffe, welche Parasiten und Saprophyten von außen als Nahrungsmittel aufgenommen haben), dann findet weitgehende oder völlige Regeneration von Eiweiß statt.

Als stickstofffreie Substanzen, die dem erwähnten Regenerationsprozeß dienen, kommen namentlich folgende Körper in Betracht: Stärke, Rohrzucker, Dextrose, Lävulose (Fruchtzucker), Glykogen der Hefe, Mannit von Agaricusarten und Olivenfrüchten, Reservecellulose, Inulin, Fette (Gemenge der Glyceride der Oel-, Palmitin- und Stearinsäure etc. mit kleineren Mengen freier Fettsäuren). Diese Stoffe können als physiologisch gleichwertige Substanzen betrachtet werden. Sie stellen sämtlich plastisches Material dar, welches, indem es zunächst zur Eiweißregeneration Verwendung findet, schließlich nach abermaliger Dissoziation der physiologischen Elemente Atomkomplexe liefert, welche bei der Atmung, der Bildung von Membranstoffen (Wachstum der Zellhäute), bei der Produktion von Sekreten und Exkreten verbraucht wird.

Die vielfach als Reservestoffe in Reservestoffbehältern (Knollen, Zwiebeln, Rhizomen, Endospermen, Kotyledonen, Elementen des Holzkörpers) deponierten stickstofffreien Substanzen erleiden gewöhnlich, ebenso wie Assimilate (aus diesen sind solche Reservestoffe ja auch hervorgegangen), bevor sie für die Zwecke der Eiweißregeneration verarbeitet werden, mannigfache Umwandelungen. Gleiches findet bei ihrer Translokation im Organismus statt. Die Stärke geht z. B. in Glykosen (Zuckerarten, welche die Fehlingsche Lösung direkt zu reduzieren vermögen), das Fett keimender Samen in Stärke und Glykose, der Rohrzucker in Glykose über. Glykosen scheinen überhaupt diejenigen Körper zu sein, welche unmittelbar bei dem Regenerationsprozeß Verwendung finden. Mikrochemische und quantitativ-chemische Studien, welche dies alles feststellen, lehrten auch, daß die Kohlenhydrate beim Reifen der Samen

und Früchte das Material zur Fettbildung liefern. So verschwindet z. B. die Stärke aus vielen Samen in dem Maße, in welchem dieselben beim Reifen Fett bilden, und der Mannit liefert nach DE LUCA wohl sicher das Material zur Produktion fetten Oeles in reifenden Olivenfrüchten.

Bei allen diesen Stoffwechselprozessen spielen vielfach Fermente (vergl. S. 123) eine sehr wichtige Rolle. Es existieren Enzyme, welche Reservecellulose auflösen, Fette spalten, Rohrzucker in Glykosen umwandeln (z. B. Invertin der Hefe), Stärke verändern etc. Dieser letztere Prozeß wird durch Diastase vermittelt, wohl das wichtigste Enzym der Pflanzen. Diastase ist namentlich in zahlreichen Keimpflanzen und Laubblättern nachgewiesen worden. Möglich freilich, daß Stärkeauflösung unter Umständen aber auch ohne Diastase durch das lebenstätige Protoplasma direkt vollzogen werden kann. Indem die Diastase auf Stärkekörner korrodierend einwirkt, entsteht aus der Stärkesubstanz $(C_6H_{10}O_5)_{40}$ zunächst nur Amylodextrin $2(C_6H_{10}O_5)_{20}$; dieser Körper geht dann in Erythrodextrin $4(C_6H_{10}O_5)_{10}$, dieses in Achrodextrin $8(C_6H_{10}O_5)_5$ über. Unter Wasseraufnahme bilden sich schließlich Maltose $20(C_{12}H_{22}O_{11})$ und aus dieser durch Maltasewirkung Dextrose $40(C_6H_{12}O_6)$. Die Diastase bildet sich bei der Keimung nur bei Sauerstoffzutritt. Gegenwart kleiner Säuremengen befördert ihre stärkeumbildende Fähigkeit bedeutend. Die Diastase wirkt schon bei 0° C. Temperaturoptimum für den Prozeß der Stärkeumbildung durch Diastase 63° C. Temperaturmaximum etwas über 80° C. Noch höhere Temperatur vernichtet das Enzym. (SACHS, Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. zu Wien, 1859, Bd. 37; PFEFFER, Botan. Zeitung, 1874; DETMER, Vergl. Physiologie d. Keimungsprozesses d. Samen, Jena 1880; MÜLLER-THURGAU, Landw. Jahrbücher, Bd. 11; DETMER, Pflanzenphysiolog. Unters. über Fermentbildung und fermentative Prozesse, Jena 1884).

123. Stärke als Reservestoff und Bestimmung derselben.

a) Samen, Knollen etc. Die so vielfach als Reservestoff angehäufte und später in den Pflanzenteilen bei ihrer Entwickelung (z. B. bei der Keimung) als plastisches Material zur Verarbeitung gelangende Stärke läßt sich leicht in den Zellen nachweisen, wenn man Querschnitte aus den Kotyledonen angequollener Phaseolussamen, aus dem Endosperm von Triticum, aus Kartoffelknollen, aus dem Rhizom von Canna indica oder Pteris aquilina mikroskopisch untersucht. (Näheres unter 54.) Auch sind Reaktionen mit Jodjodkalium vorzunehmen (vergl. unter 54 b). Wenn größere Schnitte der Pflanzenteile, die man auf einen weißen Teller gelegt hat, mit Jodjodkalium behandelt werden, so läßt sich ihr Stärkegehalt auch makroskopisch konstatieren.

b) Holz. Vielfach wird Stärke auch im Holz (im Holzparenchym und in den Markstrahlen) als Reservestoff deponiert. Im Winter untersuchen wir Zweige von Fagus (wo recht breite Markstrahlen und in tangentialen Binden zwischen den übrigen Holzelementen verteiltes Holzparenchym vorhanden sind), Berberis, Fraxinus, Syringa. Im Sommer (Juli) benutzen wir Betulazweige. Die Längs- und Querschnitte gelangen auf dem Objektträger in einen Tropfen Jodglycerin (Auflösung von Jod in Glycerin), wir legen das Deckglas auf und erhitzen bis zur beginnenden Blasenbildung. Nun ist die Gegenwart der blau gefärbten Stärkesubstanz in den erwähnten Holzelementen leicht bei mikroskopischer Durchmusterung der Schnitte festzustellen.

c) Verzuckerung der Stärke. 200 ccm Wasser werden mit g Stärke vermischt und bis zur Verkleisterung der Stärke gekocht. ın läßt abkühlen und füllt auf 200 ccm auf. 20 ccm Kleister trägt n direkt in 50 ccm FEHLINGsche Lösung ein, die man in einer Porzellan- ıale auf dem Wasserbade erhitzt hat. Reduktion tritt kaum ein.) ccm Kleister werden nach Zusatz von 5 ccm 20-proz. HCl $^1/_2$ Stunde g gekocht. Man füllt nach dem Erkalten auf 100 ccm auf und trägt ccm in 50 ccm heißer Kupferlösung ein. Sehr erhebliche Menge von pferoxydul wird jetzt abgeschieden.

d) Quantitative Bestimmung. Ca. 1,5 g reiner, bei 100° C rockneter Kartoffelstärke (der Aschengehalt der Stärke ist zu ermitteln l in Abzug zu bringen) werden zur Verkleisterung in einem Kolben : 200 ccm Wasser erhitzt. Man fügt der Flüssigkeit nun 20 ccm proz. HCl hinzu und kocht sie 4 Stunden lang unter Ersatz des ver- ıstenden Wassers. Man neutralisiert mit Natronlauge und füllt auf) ccm auf. Man erhitzt nun FEHLINGsche Lösung in einer Porzellan- ıale auf dem Wasserbade, setzt ihr 20 ccm der zuckerhaltigen Flüssig- t zu und erhitzt noch 10—15 Minuten. Die FEHLINGsche Lösung ist ım Gebrauch mit dem vierfachen Volumen Wasser zu verdünnen. Die ckerhaltige Flüssigkeit darf nur $^1/_4$—$^1/_2$ Proz. Zucker enthalten. Das bildete Kupferoxydul wird möglichst schnell auf einem Filter, dessen chengehalt man kennt, gesammelt, mit heißem Wasser ausgewaschen d getrocknet. Nun verbrennt man das Filter, glüht das Oxydul nach ısatz von HNO_3 im Platintiegel und bestimmt schließlich das Gewicht s Kupferoxyds. 220,5 Teile desselben entsprechen 100 Teilen Trauben- cker oder 90 Teilen Stärke. Die erforderliche FEHLINGsche Lösung rd in folgender Weise dargestellt. Man löst 34,65 g reinen, schwefel- ıren Kupferoxyds in 200 ccm H_2O, vermischt mit einer Auflösung n 173 g weinsaurem Natronkali in 480 ccm Natronlauge von 1,14 ezifischem Gewicht (ca. 10-proz. Natronlauge) und verdünnt die Flüssig- it bei 15° C auf 1000 ccm.

124. Glykose.

a) Quantitative Bestimmung. 2 g Malzpulver, dessen Trocken- bstanzgehalt man kennt, werden wiederholt mit destilliertem Wasser n gewöhnlicher Temperatur digeriert und die gewonnenen Lösungen riert. Dabei ist es, um das Filtrieren zu erleichtern, oft geboten, ne CO_2 (über deren Darstellung vergl. man unter 16a) in die Flüssig- ten einzuleiten. Die vereinigten Filtrate füllt man mit Bleiessig, riert, füllt auf 200 ccm auf und bestimmt den Zucker (vergl. unter 123).) Teile Maltose, die in erster Linie als Zucker im Malz vorhanden entsprechen 61 Teilen Dextrose.

b) Mikrochemischer Zuckernachweis. Es werden z. B. ınitte aus Birnen oder Aepfeln, die nicht gar zu dünn sein dürfen, l noch 2—3 Lagen unversehrter Zellen enthalten, hergestellt, mit der ıcette erfaßt, in Wasser umgeschwenkt und auf dem Objektträger in en Wassertropfen gelegt, der schon vorher mit etwas FEHLINGscher ıung (vergl. unter 123) vermischt worden ist. Die Säure der Frucht- nitte muß natürlich völlig neutralisiert sein. Nun legt man das Deck- s auf und erhitzt den Objektträger, bis kleine Blasen entstehen. In ı zuckerhaltigen Zellen ist jetzt, wie die mikroskopische Prüfung lehrt, pferoxydul als roter Niederschlag vorhanden.

c) Zucker im Holz. Fingerdicke Aststücke von Betula und

Rhamnus, im Juli abgeschnitten, werden der Länge nach halbiert. Die Stücke legt man 5 Minuten lang in konzentrierte Kupfervitriollösung und nach dem Abspülen 2—3 Minuten lang in eine siedende Lösung von weinsaurem Natronkali in Natronlauge (vergl. unter 123). Die Schnitte sind jetzt leicht herzustellen. Glykose ist in den Gefäßen (nicht in den Holzfasern, dem Holzparenchym, den Zellen der Markstrahlen) vorhanden. (A. Fischer, Jahrb. f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 22.)

125. Rohrzucker.

a) Nachweis desselben. Ein Stück von einer Runkelrübe zerreibt man auf dem Reibeisen. 20 g des Breies behandelt man mit 50 ccm Wasser, 20 ccm des Extraktes scheiden beim Erhitzen mit Fehlingscher Lösung nur wenig Kupferoxydul ab. Eine starke Reduktion tritt dagegen ein, wenn man 20 ccm Extrakt verwendet, der $^1/_2$ Stunde nach Zusatz einiger Tropfen SO_2 gekocht worden ist. Der Rübenextrakt nimmt bei längerem Stehen eine violett-schwarze Farbe an, indem gewisse Fermente (Oxydasen), die er enthält, Oxydationsprozesse herbeiführen.

b) Mikroskopischer Nachweis. Genau nach der unter 124b angegebenen Methode. Objekte sind Schnitte aus Runkeln. Der Inhalt der Rohrzucker enthaltenden Zellen färbt sich schön blau.

126. Dextrine.

100 ccm 1-proz. Stärkekleister werden nach Zusatz einiger Tropfen HCl gekocht. Man entnimmt der sich schnell klärenden Flüssigkeit alle 5 Minuten kleine Proben, um dieselben nach dem Erkalten mittelst eines Glasstabes mit etwas Jodjodkaliumlösung zu versetzen. Es entstehen successive verschiedene Dextrinarten (Amylodextrin, das sich mit Jod violett färbt, Erythrodextrin, Braunfärbung mit Jod, Achrodextrin). Letzteres und der schließlich gebildete Zucker färben sich mit Jod nicht.

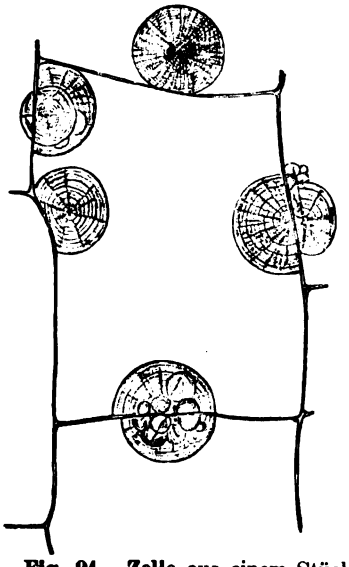


Fig. 94. Zelle aus einem Stück einer Knolle von Dahlia variabilis, welches mehrere Monate lang in Alkohol gelegen hatte. Sphärokristalle an den Wänden. Vergr. 240. (Nach Strasburger.)

20 g Pulver von Viktoriaerbsen werden mit 100 ccm H_2O digeriert. Man leitet CO_2 ein, filtriert und versetzt 2 ccm des Auszuges und ebenso 2 ccm H_2O mit einigen Jodsplittern. Das H_2O färbt sich im Laufe von 24 Stunden nur gelb, der Extrakt aber braun (Erythrodextrinreaktion).

127. Inulin.

Man zerreibt Stücke der Knollen von Helianthus tuberosus auf dem Reibeisen. 20 g des Breies werden mit 50 ccm Wasser behandelt. Trägt man einen Teil des Filtrates in die 3—4-fache Alkoholmenge ein, so scheidet sich das Inulin allmählich ab.

Stücke aus Georginenknollen läßt man ca. 14 Tage lang in 50-proz. Alkohol liegen, stellt Schnitte aus ihnen her und untersucht diese im Wassertropfen mikroskopisch. Die abgeschnittenen Sphäro-

kristalle des Inulins sind deutlich in den Zellen (an den Wänden derselben) zu erkennen. (Vergl. Fig. 94.)

128. Vorkommen der Diastase in den Pflanzen und Wirkungskreis des Fermentes.

a) Diastase des Malzes. 25 g Malzpulver werden mit 100 ccm Wasser übergossen. Unter Umrühren läßt man etwa $^1/_2$ Stunde lang stehen, bringt alles auf ein Filter und gießt das Filtrat eventuell mehrfach auf das Filter zurück, bis man eine völlig klare Lösung erhalten hat. Ferner werden 100 ccm Wasser mit 1 g Kartoffelstärke zur Herstellung eines Kleisters gekocht. 25 ccm des erkalteten Kleisters mit 5 ccm Malzextrakt versetzen. Sogleich zu einer kleinen Probe der Flüssigkeit mittelst eines Glasstabes Jodjodkaliumlösung bringen: Blaufärbung. Nach wenigen Minuten ist die Mischung von Kleister und Malzextrakt klar geworden; eine Probe derselben färbt sich aber auf Jodzusatz noch blau. Von 5 zu 5 Minuten werden Proben der Lösung mit Jod versetzt: Violettfärbung, Braunfärbung, endlich schwache Gelbfärbung, wenn nur noch Achrodextrin, Isomaltose, Maltose und Dextrose in der Flüssigkeit verhanden sind. (Ueber das Verhalten der Dextrine zum Jod vergleiche unter 126.)

b) Diastase in Laubblättern. Laubblätter von Pisum sativum, Trifolium pratense, Vicia sepium und Fagus werden abgeschnitten und an der Sonne getrocknet. Je 2 g der fein pulverisierten Blattsubstanz mit 20 ccm Wasser behandeln und filtrieren. Je 10 ccm des Filtrates mit 2 ccm 1-proz. Stärkekleister versetzen. Diastasenachweis wie unter a. Die Blätter der Papilionaceen enthalten das Ferment; die Fagusblätter sind diastasefrei.

c) Zuckerbildung durch Diastasewirkung. Wir stellen Malzextrakt in der unter a angegebenen Art her. Wir tragen 1 ccm des Auszuges in erhitzte Fehlingsche Lösung ein. Zuckerreaktion (vergl. unter 124) nur schwach. Ferner werden 50 ccm 1-proz. Kleisters mit 2 ccm des Malzextraktes versetzt. Nach 12 Stunden fügt man 26 ccm dieser Lösung zu heißer Fehlingscher Lösung. Starke Zuckerreaktion. Man kann die Versuche auch quantitativ durchführen. (Näheres unter 124.)

d) Abscheidung der Diastase. Malzpulver wird mit Wasser übergossen. Man stellt eine recht konzentrierte Lösung her, welche man filtriert und mit viel Alkohol versetzt. Der Niederschlag, der neben vielen anderen Stoffen auch die Diastase enthält, wird auf einem Filter gesammelt, mit Alkohol ausgewaschen und getrocknet. Löst man eine kleine Menge der Substanz in Wasser, so erhält man eine sehr energisch stärkeumbildend wirkende Flüssigkeit.

129. Beeinflussung der Diastasewirkung.

a) Wirkung verschiedener Substanzen. In eine Anzahl von Gläsern bringen wir je 25 ccm 1-proz. Stärkekleisters. *a* erhält keinen Zusatz, *b* einige Tropfen Salzsäure, *c* einige Tropfen einer konzentrierten Zitronensäurelösung, *d* Zusatz einiger Tropfen Kalilauge, *e* einige Tropfen Alkohol, *f* einige Tropfen Chloroform. Zu den Flüssigkeiten in *a* bis *f* bringen wir noch 5 ccm Malzextrakt. Nach 24 Stunden prüfen wir mit Jodlösung auf Stärkegegenwart. Die Flüssigkeiten *a*, *e* und *f* färben sich nicht blau; alle übrigen werden gebläut. Alkohol und Chloroform haben die Diastasewirkung nicht aufgehoben. Die übrigen Körper zerstörten das Ferment.

b) Beschleunigung der Diastasewirkung durch kleine Säuremengen. *a*) 25 ccm 1-proz. Kleister mit 5 ccm Malzextrakt und 3 ccm Wasser versetzen; *b*) 25 ccm Kleister mit 5 ccm Malzextrakt und 3 ccm Zitronensäurelösung (100 ccm Wasser und 100 mg Zitronensäure) versetzen. Kleine Proben von *a* und *b* werden mehrfach mit Jodlösung geprüft. Die Stärkeumbildung geht in *b* schneller vor sich als in *a*, weil kleine Zitronensäuremengen (kleine Mengen anderer Säuren wirken ähnlich) den Verlauf des fermentativen Prozesses beschleunigen.

c) Temperatureinfluß. Stärkekleister und Malzextrakt werden auf 20° C und andere Flüssigkeitsmengen auf 4° C gebracht. Man vermischt je 25 ccm Kleister mit 5 ccm Extrakt. Bei 20° C geht die Stärkeumbildung weit schneller als bei 4° C vor sich.

d) Vernichtung der Diastase durch Hitze. Malzextrakt wird gekocht und nach dem Erkalten in Stärkekleister eingetragen. Stärkeumbildung findet nicht statt. Die Flüssigkeit färbt sich nach 12 Stunden noch blau.

180. Auflösung der Stärkekörner durch Diastase.

a) Korrosion der Stärkekörner. Etwas Stärke, welche wir dem Endosperm keimender Gerste aus der Nähe der Ansatzstelle des Keimlings entnehmen, wird auf den Objektträger in einen Wassertropfen gebracht und mikroskopisch untersucht. Stärkekörner in verschiedenen Stadien der Korrosion sind vorhanden (vergl. Fig. 95). Die Auflösung der Stärkekörner durch die Diastase erfolgt derartig, daß sich Korrosionskanäle bilden und die Körner schließlich in Bruchstücke zerfallen. Gleichmäßige Auflösung der Kornsubstanz von der Oberfläche her findet also nicht statt.

Fig. 95. Korrodierte Stärkekörner aus keimender Gerste, *1*, *2*, *3*, *4* aufeinander folgende Stadien der Auflösung, die sich nebeneinander vorfinden. (Nach Noll.)

b) Experimente mit Blättern. Gegen Abend eines warmen Sommertages wird ein Blatt von Tropaeolum abgeschnitten. Makroskopischer Stärkenachweis an einem Stück dieses Blattes (vergl. unter 18). Ein anderes Stück des nämlichen Blattes wird nach der Behandlung mit heißem Wasser und Alkohol zur Entfernung des Alkohols mit Wasser ausgewaschen und 24 Stunden lang in starken Malzextrakt gelegt. Während dieser Zeit erwärmt man die Flüssigkeit 4 Stunden lang auf 45° C. Durch die Jodprobe läßt sich nachweisen, daß nur noch die Blattnerven etwas Stärke führen. Das Ferment hat die Stärke fast völlig aufgelöst, wie solches ja auch vielfach unter normalen Verhältnissen im lebenstätigen Blatt geschieht.

181. Entstehung der Diastase in den Zellen höherer Pflanzen.

In zwei retortenartige Gefäße von etwa 90 ccm Kapazität bringt man je 20 lufttrockene Weizenkörner, füllt die Gefäße mit ausgekochtem und wieder abgekühltem Wasser an, verschließt die Mündungen der Gefäße mit dem Finger und stellt jedes derselben in der Art, wie es Fig. 13 zeigt, in einem mit Quecksilber und Wasser gefüllten Glase auf.

ach Verlauf von 24 Stunden wird das Wasser des einen retorten-rtigen Gefäßes durch atmosphärische Luft, dasjenige des anderen durch Vasserstoffgas verdrängt. Den Wasserstoff stellt man durch Ueber-ießen von arsenikfreiem Zink mit verdünnter Salzsäure in einem ge-ignoten Apparate dar und leitet das Gas zunächst durch eine Lösung on Aetzkali, dann durch eine solche von übermangansaurem Kali, um ventuell vorhandene Spuren von Schwefelwasserstoff sowie Kohlen-asserstoffen zu beseitigen. In den Röhren der retortenartigen Gefäße uß übrigens eine kleine Wassermenge über dem Quecksilber zurück-leiben, damit die Untersuchungsobjekte nicht mit Quecksilberdämpfen i Berührung kommen. Die Weizenkörner, welche sich mit atmosphärischer uft in Kontakt befinden, keimen alsbald; im Wasserstoffgas erfolgt eine Keimung. Kontrollversuche lehren aber, daß die Körner im Vasserstoffgas keineswegs zu Grunde gehen, sondern ihre Keimfähigkeit iemlich lange (mindestens mehrere Tage) bewahren und ihren Embryo laher zur Entwickelung bringen, wenn sie nachträglich günstigen Keimungsbedingungen bei Luftzutritt ausgesetzt werden. Haben die Untersuchungsobjekte sich 2—3 Tage lang mit atmosphärischer Luft esp. Wasserstoffgas in Berührung befunden, so werden sie aus den etortenartigen Gefäßen herausgenommen, im Mörser zerquetscht und der Brei mit 20 ccm Wasser übergossen. Nach einiger Zeit filtriert man durch vorher nicht angefeuchtete Filter. Versetzt man nun 10 ccm der Filtrate mit 20 ccm verdünntem Stärkekleister, so ergibt die Jodreaktion, daß der Extrakt aus den in dem retortenartigen Gefäß bei Luftzutritt zur Entwickelung gelangten Weizenkeimpflanzen ziemlich energisch stärke-umbildend wirkt, während der Auszug aus den Untersuchungsobjekten, die sich in Kontakt mit Wasserstoff befunden hatten, eine sehr schwache stärkeumbildende Kraft geltend macht. Diese letztere ist nicht größer als diejenige eines Extraktes, den man durch Behandlung von 20 zer-quetschten ruhenden Weizenkörnern mit 20 ccm Wasser hergestellt hat. Der angestellte Versuch lehrt also, daß sich in den Zellen höherer Pflanzen nur bei Zutritt des freien atmosphärischen Sauerstoffes Diastase bilden kann.

132. Die Pflanzenfette.

a) Abscheidung des Fettes. 4 g Rapssamen werden unter Zusatz von reinem Sand im Mörser fein zerrieben. Man trocknet die Masse im Trockenschrank bei 45°, übergießt sie in einem Kolben mit Aether und erwärmt im Wasserbade. Die gewonnene Lösung wird ab-filtriert und in einer Schale der Aether verdunstet. Der Rückstand ist leicht als Fett zu erkennen.

b) Abscheidung von Glycerin aus Fetten. Um das Gly-cerin aus Fetten, die ja Gemenge von Glyceriden und freien Fettsäuren darstellen, abzuscheiden, werden 75 ccm Olivenöl in einer Porzellanschale auf dem Wasserbade mit verdünnter Kalilauge digeriert. Nach dem Erkalten fügt man der Flüssigkeit viel schwefelsaures Natron hinzu, filtriert die abgeschiedene Seife ab und neutralisiert das Filtrat mit Schwefelsäure. Dann wird die Flüssigkeit eingedunstet, der Rückstand mit Alkohol behandelt, die Lösung von den schwefelsauren Salzen ab-filtriert, eingedunstet, der Rückstand zur Reinigung nochmals mit Alkohol behandelt, um die Lösung nach erfolgter Filtration wieder einzudunsten. Es bleibt eine sirupartige Flüssigkeit von süßlichem Geschmack, eben das Glycerin, zurück. Wird dieser Rückstand in Wasser aufgelöst

und ein Teil der Flüssigkeit mit einer verdünnten Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd vermischt, in der man durch Zusatz von Kalilauge eine Abscheidung von Kupferoxydhydrat hervorgebracht hat, so wird dieser letztere Körper aufgelöst (Glycerinreaktion).

c) Quantitative Fettbestimmung. Der Apparat (Fig. 96), nach Soxhlets Angaben zusammengestellt, ist zum Preis von 10 M. von Muencke in Berlin zu beziehen. Er besteht aus dem Kolben *K*, dem eigentlichen Extraktionsraum *E* (dieser hat etwa 18 cm Höhe und ca. 3,5 cm Durchmesser) und der Kühlvorrichtung *Kv*, die mit der Wasserleitung in Verbindung gesetzt wird. Als Extraktionsflüssigkeit dient wasserfreier Aether. Bei der Ausführung der Untersuchungen bringt man 3—5 g der sehr fein zerpulverten und bei Benutzung sehr fettreicher Körper am besten mit reinem Quarzsand zerriebenen Substanz, deren Trockensubstanzgehalt man kennt, in eine aus Fließpapier gefertigte Patrone. Diese stellt man her, indem man um einen Holzcylinder, dessen Durchmesser 4 mm geringer ist als derjenige des Extraktionscylinders *E*, ein Stück Fließpapier zweimal herumrollt, über die Basis des Holzcylinders ein dem Durchmesser desselben entsprechendes Stück der gebildeten Rolle hervorstehen läßt, dieses ähnlich, wie man ein Packet schließt, umbiegt und den gebildeten Boden der Rolle durch kräftiges Aufdrücken ebnet. Hat man die Substanz eingefüllt, so schließt man die obere Oeffnung der Patrone ebenfalls durch Umbiegen.

Fig. 96. Fettextraktionsapparat.

Die gefüllte Hülse wird nun 2—3 Stunden lang im Trockenschrank einer Temperatur von 45° C ausgesetzt. Dann erfolgt in bekannter Weise die Extraktion mit Aether. Schließlich wird der Aether der Fettlösung im Kolben *K* abdestilliert, und der Rückstand (Rohfett) 1—2 Stunden lang bei 95° C getrocknet, um endlich sein Gewicht festzustellen.

183. Die Reaktion der Fette.

Die fetten Oele sind zumeist schwer löslich in Alkohol. Dagegen ist z. B. das Ricinusöl ziemlich leicht löslich in Alkohol.

Zum Nachweis der Fette dienen namentlich Ueberosmiumsäure und Alkannatinktur. Diese letztere (vergl. Zimmermann, Botanische Mikrotechnik) bereitet man, indem man käufliches Alkannin in absolutem Alkohol löst, das gleiche Volumen Wasser zusetzt und filtriert.

Schnitte aus dem Endosperm von Ricinus, die im Wasser liegen, werden mit wenig Alkannatinktur versetzt. Man legt das Deckglas auf. Die Fettmassen in den Zellen färben sich rot. Diese und andere Reaktionen haben übrigens manche Mängel; sie sind z. B. nicht streng eindeutig.

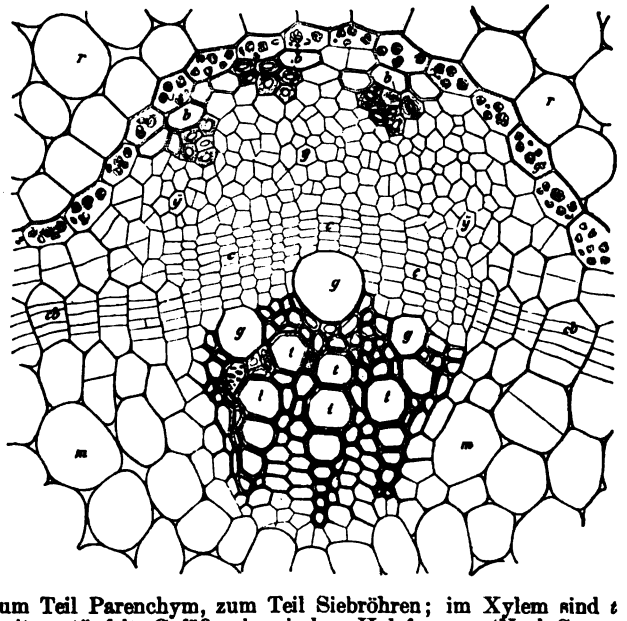
Will man Holzschnitte, z. B. Lindenholz im Winter, auf Fett untersuchen, so legt man die Schnitte in ein Uhrschälchen in Alkannatinktur, erhitzt, spült die Schnitte durch Schwenken in Alkohol ab und untersucht sie in Glycerin.

134. Verhalten der Fette bei der Keimung der Samen.

ɜi der Keimung von Linum werden fast gar keine Kohlehydrate ıt, wenn das Fett aus den Reservestoffbehältern zu den Orten des uches wandert. Hier müssen die Fette in der Hauptsache als eine Translokation erfahren. (Vergl. SCHMIDT, Flora, 1893.)

ɜichliche Kohlehydratmengen entstehen bei der Keimung von ɜ communis. In einer centralen Höhlung des mächtig ausgebildeten ɔerms der Samen liegt der aus den beiden dünnen Kotyledonen ɜr Keimachse bestehende Embryo. Die großen Endospermzellen ɜen nur Fett und Eiweiß (vergl. unter 55e). Stärke ist im Endo- und ebenso im Embryo, wie man mit Hülfe von Jodreagentien feststellen kann, nicht vorhanden.

ɪnige Samen von Ricinus läßt man im Dunkeln bei 20° C in ɜnen keimen. Hauptwurzel und Hypokotyl beträchtlich gestreckt, Teil des letzteren Organs aber noch gekrümmt, da die Kotyledonen ɲ Endosperm stecken. Endosperm enthält auch jetzt keine Stärke, ɔ nur Eiweiß und Fett. In den Zellen des Parenchyms der donen ist viel Fett vorhanden; Amylum in denjenigen Parenchym- reichlich vorhanden, welche den Mittelnerven nach außen umgeben. ambiumzellen des Hypokotyls enthalten nur Eiweißstoffe. Das hym der Rinde und des Markes des oberen, noch nicht völlig ge- en Teiles des Hypokotyls ist sehr stärke- und zuckerreich (SACHS),



7. Teil eines nittes aus lig gestreck- rpokotylen on Ricinus ıis. *r* Par- der pri- Rinde, *m* rkes. Zwi- und *b* die he Gefäß- ɔheide mit ɜekörnern cheide). Der saalstrang be- aus dem *b*, *y*, dem ', *g* und dem m *c c*. Das m des Stran- tzt sich auch wischen den ɜarten Strän- ende Grund- fort, als cikularkam- Im Phloëm Bastfasern, Weichbast, zum Teil Parenchym, zum Teil Siebröhren; im Xylem sind *t t* tüpfelte, *g g* weite getüpfelte Gefäße, dazwischen Holzfasern. (Nach SACHS.)

ıd die Menge dieser Körper im unteren gestreckten Teil des ɔtyls mehr und mehr abnimmt. Der obere Teil des Hypokotyls stärkereich, daß Schnitte, die man mit Chloralhydrat und Jodjod- lösung behandelt, die eingetretene Blaufärbung schon makro- ɜh erkennen lassen. In dem fertig gestreckten untersten Teil des

Hypokotyls fehlen Zucker und Stärke im Parenchym, nur in den Zellen der den Gefäßbündelring umgebenden Stärkescheide sind Amylumkörner nachzuweisen. Im Gewebe der Hauptwurzel ist jetzt weder Stärke noch Fett zu finden, dagegen führt das Parenchym der sich lebhaft streckenden Nebenwurzeln viel Zucker. (SACHS, Botan. Zeitung, 1859.)

Bei Fortschritt der Keimung schwindet das Fett mehr und mehr aus dem Endosperm. Das Hypokotyl streckt sich gerade und bildet seine Gewebe mehr aus. In dem Maße, wie dies alles geschieht, verschwinden Stärke und Zucker aus dem Parenchym des oberen Teiles des Hypokotyls. Nur in den Zellen der die Fibrovasalstränge umgebenden Stärkescheide sind noch Amylumkörner nachzuweisen (vergl. Fig. 97). Die Kohlehydrate sind der Hauptsache nach zur Bildung von Zellstoff verbraucht worden.

185. Die Keimung der Samen von Phaseolus multiflorus.

Ein sehr günstiges Objekt für das Studium einer Reihe von Stoffwechselprozessen sowie mancher Erscheinungen der Stoffwanderung in der Pflanze bietet der keimende Samen der Schminkbohne (Phaseolus multiflorus) dar. Die Samenschale der Bohne besteht, wovon man sich bei dem Studium von Querschnitten überzeugen kann, aus vier Schichten. Die innerste Schicht besteht aus zusammengedrückten Zellen. Es folgt dann eine aus mehreren Zelllagen zusammengesetzte Schicht, und zwar führen die Zellen, wenn man es mit bunten Samen zu tun hat, einen roten Farbstoff. An diese Schicht schließt sich eine dritte an, die aus recht kleinen Zellen besteht, und endlich folgt die Palisadenschicht, deren Elemente radial zur Samenoberfläche gestreckt und stark verdickt sind. Gruppen von Palisadenzellen führen einen schwarzen Farbstoff, wodurch die Samen ihr gefleckes Aussehen erlangen. Um recht günstige Präparate aus der Samenschale zu gewinnen, ist es zweckmäßig, die Bohnen zunächst 24 Stunden lang einzuquellen und dann 12 Stunden lang austrocknen zu lassen. Das auf diese Weise vorbereitete Material läßt sich gut zur Herstellung dünner Querschnitte der Samenschale verwenden. Die Samenschale umschließt den Embryo, welcher aus den beiden großen Kotyledonen und der Keimachse (Wurzel, hypokotyles Glied, erstes Stengelglied, Terminalknospe) mit den beiden Primordialblättern zusammengesetzt ist. Man überzeugt sich leicht davon, daß die Kotyledonen, da ihre nach innen gerichteten Flächen konkav sind, einen Hohlraum zwischen sich lassen, und daß die Achse des Embryos knieförmig gebogen ist. Die Kotyledonen bestehen aus der Epidermis, dem mächtig entwickelten Parenchym und den dieses durchziehenden Gefäßbündeln. Die Epidermiszellen führen keine Stärke, dagegen sind die Elemente des Parenchyms sehr stärkereich. Ueberdies führen sie Eiweißstoffe, wovon man sich bei der Behandlung von Schnitten aus den Kotyledonen mit Jod und FEHLINGscher Lösung überzeugen kann. Die Zellen der Gefäßbündel sind amylumfrei; sie führen aber Eiweißstoffe. Feine Querschnitte durch die Keimachse lehren, daß diese aus der Epidermis, dem Rinden- sowie Markparenchym und der dazwischen liegenden Gefäßbündelregion zusammengesetzt ist. Die Primordialblätter besitzen einen Stiel sowie eine Lamina. Wird ein Blatt auf dem Objektträger im Wassertropfen ausgebreitet, mit Deckglas bedeckt und mikroskopischer Betrachtung unterzogen, so kann man sich von dem Vorhandensein der Nerven in der Lamina überzeugen. Alle Zellen des Parenchyms dieser letzteren sind stärkefrei, führen aber Eiweißstoffe.

Werden Bohnensamen in feuchte Erde eingelegt, so beginnt die Keimung alsbald. Die junge Pflanze wächst auf Kosten der in den Kotyledonen vorhandenen Reservestoffe. Man achte besonders bei der Betrachtung der sich entwickelnden Keimpflanzen auf das zuerst erfolgende Hervorbrechen der Wurzel aus der Samenschale, auf das Hervortreten des an seiner Spitze gekrümmten Stengels, auf die Entstehung der Nebenwurzeln, die Bildung der Wurzelhaare sowie der Haare am Stengel, welche am ruhenden Keim noch fehlen, auf das Wachstum der Primordialblätter und die Differenzen, welche sich bei der Keimung im Dunkeln einer- und bei Lichtzutritt andererseits herausstellen etc.

Mit Bezug auf das Verhalten des plastischen Materials bei der Keimung ist namentlich das Folgende zu bemerken. Hat die Wurzel eine Länge von 2—3 cm erreicht, so finden sich in der Rinde und dem Mark der Wurzel sowie des hypokotylen Gliedes viele kleine Stärkekörner, während die Zellen der Achse des Embryos vor Beginn der Keimung gewöhnlich nur wenig Amylum führten. Glykose ist, wie man bei Behandlung von Schnitten mit Fehlingscher Lösung konstatieren kann, in den Rinden- und Markzellen der Achse vorhanden, während sich Eiweißstoffe zumal in der Gefäßbündelregion vorfinden. Indem sich bei dem Fortgang der Keimung die Wurzel verlängert und das erste Stengelglied bedeutend streckt, verschwindet das Amylum aus den fertig gestreckten Zellen der Rinde sowie des Markes. So z. B. sind die Zellen der Rinde und des Markes an der Basis des Stengels alsbald amylumfrei, während Rinde und Mark der höheren Teile des Stengels noch Stärke führen. Endlich verschwindet diese aber auch. Ebenso verschwindet das Amylum in dem Maße aus den Primordialblättern, in welchem sich diese ausbilden. Ist die Streckung des ersten Stengelgliedes vollendet, so sind Rinde und Mark desselben völlig stärkefrei. Nur die bei der Bohne sehr schön entwickelte Stärkescheide, welche aus einer Zellenlage besteht und den Gefäßbündelkreis umgibt, führt noch reichlich Amylumkörner. Die Mark- und Rindenzellen, welche ihr Stärke verloren haben, führen jetzt Zucker, der aber auch mehr und mehr verschwindet, wenn die Keimung ihrem Ende naht. Eiweißstoffe sind besonders reichlich, wie sich mit Hülfe von Fehlingscher Lösung feststellen läßt, im Siebteil der Gefäßbündel vorhanden. Wenn sich die Primordialblätter völlig entwickelt haben, so kann das Keimungsstadium der Bohnenpflanze als abgeschlossen betrachtet werden. Die Kotyledonen sind fast völlig frei von Reservestoffen. Schnitte, die man mit Fehlingscher Lösung behandelt, färben sich nicht mehr violett, da kein Eiweiß vorhanden ist, sondern hellblau. Der Amylumgehalt der Kotyledonen ist nur noch ein geringer. (Sachs.)

136. Die Keimung von Triticum vulgare.

Handelt es sich darum, die Natur der ruhenden Weizenfrucht genauer kennen zu lernen, so ist nicht das trockene Korn, sondern es sind bis zu einem gewissen Grade in Wasser aufgeweichte Körner zur Herstellung der erforderlichen Schnitte zu benutzen. Die Frucht besteht aus der Frucht- und Samenschale, die wir bereits an anderer Stelle besprachen, dem Endosperm und dem Embryo. Wir stellen zunächst Querschnitte durch ein Korn her und konstatieren, daß die äußerste Schicht des Endosperms eine einfache Lage auf dem Querschnitt fast quadratisch erscheinender Zellen darstellt, deren Membranen stark verdickt sind und die körnige Massen als Inhaltsstoffe führen. Stärke-

körner sind in diesen Zellen nicht vorhanden; sie führen aber, wie sich leicht mit Hülfe von Jod oder Fehlingscher Lösung ermitteln läßt, reichliche Eiweißmengen. Die Hauptmasse des Endosperms zeigt sich aus Zellen von rundlichem Querschnitt zusammengesetzt, die Stärkekörner von verschiedener Größe sowie Eiweißstoffe enthalten. Letzteres ist bei Behandlung von Schnitten mit Fehlingscher Lösung festzustellen. Der Embryo liegt dem Endosperm seitlich an. Für das Studium des Keimes sind mediane Längsschnitte durch das Weizenkorn anzufertigen, und die Betrachtung derselben zunächst bei schwacher, dann bei stärkerer Vergrößerung führt uns ein kompliziertes Bild vor das Auge. (Vergl. Fig. 62.) Zunächst ist auf denjenigen Teil des Embryos hinzuweisen, der direkt an das Endosperm angrenzt. Es ist das Schildchen (Scutellum), welches unsere besondere Aufmerksamkeit erfordert. Dasselbe besteht seiner Hauptmasse nach aus kleinen abgerundeten Zellen; nur die an das Endosperm anschließende Zellschicht des Schildchens ist, wie man namentlich bei Behandlung der Schnitte mit Kalilauge deutlich sieht, von anderer Beschaffenheit. Die Zellen dieses Epithels des Scutellums sind nämlich von gestreckter, cylindrischer Form. Am oberen Teil des Keimes erkennen wir weiter das geschlossene Scheidenblatt, die jungen Laubblattanlagen und den Vegetationskegel. Die Wurzel des Weizenembryos ist von einer Wurzelscheide (Coleorhiza) umschlossen, und zwar ist die Grenze zwischen jener und dieser scharf durch eine helle Linie markiert. Amylum oder Glykose sind weder in den Zellen des Schildchens noch in denjenigen der übrigen Teile des Keimes vorhanden. Dagegen führen die sämtlichen Zellen des Embryos reichliche Eiweißquantitäten. Zu bemerken ist noch, daß auch das Endosperm des ruhenden Weizenkornes keinen Zucker enthält.

Werden angequollene Weizenkörner auf in Wasser liegende Bimssteinplatten gebracht, so beginnt die Keimung alsbald, indem die Organe des Embryos auf Kosten der ihnen aus dem Endosperm zukommenden plastischen Stoffe wachsen. Die Wurzel tritt hervor, und die ersten Seitenwurzeln, welche sich fortan lebhafter als jene entwickeln, kommen zum Vorschein. Ebenso erfahren die Blattanlagen schnell eine bedeutende Streckung, sie bleiben aber noch zunächst von dem lebhaft wachsenden ersten scheidenförmigen Blatt umschlossen. Der Stengel entwickelt sich erst später. Das Keimpflanzenmaterial muß nun von Zeit zu Zeit untersucht werden, wenn es sich darum handelt, Aufschluß über die Stoffwechselprozesse bei der Keimung zu erlangen. Bald nach Beginn der Keimung treten im Endosperm bedeutende Glykosemengen auf, wie mit Hülfe von Fehlingscher Lösung leicht festzustellen ist. Das Schildchen, welches bei der Keimung im Weizenkorn stecken bleibt, vermittelt den Uebertritt des gesamten plastischen Materials aus dem Endosperm in den Keim, aber es ist wichtig, daß die Zellen des Scutellums niemals Zucker führen.

Das Cylinderepithel dient dem Schildchen als Saugorgan, und wenngleich in den Epithelzellen niemals die Gegenwart von Amylum oder Glykose nachzuweisen ist, so enthalten die übrigen Zellen des Schildchens doch alsbald nach Beginn der Keimung transitorische Stärke. Die Gegenwart dieses Körpers ist namentlich bei Behandlung von Schnitten mit Kali-Essigsäure und verdünnter Jodlösung in den Zellen des Scutellums leicht festzustellen. Uebrigens ist hier zu bemerken, daß die gekeimten Weizenkörner, um für die Untersuchung brauchbare Schnitte herzustellen, etwas ausgetrocknet werden müssen. Eiweißstoffe werden

der sich entwickelnden Keimpflanze ebenso wie stickstofffreie Körper unter Vermittelung des Schildchens aus dem Endosperm zugeführt. Haben sich die Weizenkeimlinge z. B. 5 Tage lang bei gewöhnlicher Zimmertemperatur entwickelt, so ist es namentlich leicht, die Gegenwart größerer Eiweißmengen mit Hülfe von Fehlingscher Lösung in den jüngeren Teilen der Wurzeln sowie in den einander diametral gegenüberstehenden Gefäßbündeln des Scheidenblattes nachzuweisen. Dieses letztere wächst jetzt noch sehr lebhaft und ist dementsprechend auch reich an plastischem, aus dem Endosperm stammenden Material. Im Parenchym des Scheidenblattes sind zahlreiche Stärkekörner leicht zu erkennen, deren Menge sich in dem Maße vermindert, in welchem das Wachstum der Scheide mit fortschreitender Keimung allmählich erlischt. Auch die Zellen der übrigen wachsenden Blätter führen Amylumkörner. Das Vorhandensein von Glykose kann man unter Umständen zu keiner Zeit in irgend einem Teil des Weizenembryos nachweisen; es ist nur im Endosperm des keimenden Weizens Glykose zugegen. Uebrigens ist es gar nicht ausgeschlossen, daß unter bestimmten Bedingungen Glykose auch im Embryo der Weizenkeimpflanze auftritt. Die Zellen des Endosperms werden natürlich mit fortschreitender Entwickelung der Keimpflanze immer ärmer an Reservestoffen (Eiweißstoffen sowie Amylum). (Sachs.)

137. Quantitative Untersuchungen über die Keimung des Weizens.

Ca. 8 g sehr gleichmäßig ausgebildeter Weizenkörner, deren Gewicht genau bestimmt worden ist, werden 16 Stunden lang eingequollen und dann auf feuchtes Fließpapier gelegt, welches in mehreren Lagen den Boden großer Kristallisierschalen bedeckt. Die Schalen, welche man mit Glasplatten versieht, die aber nicht luftdicht schließen, finden unter Zinkblechrezipienten Platz. Temperatur ca. 20° C. Nach etwa 8 Tagen (das Fließpapier muß während dieser Zeit stets genügend feucht bleiben) erntet man die Keimlinge. Man zerquetscht sie in einem Mörser und fügt dem Brei auch den Verdunstungsrückstand des Wassers hinzu, in welchem die Körner gequollen sind, sowie eine kleine Wassermenge, welche zum Auswaschen des Filtrierpapiers diente. Alles gelangt dann in eine genau gewogene Schale und wird in dieser auf dem Wasserbade, später in einem Trockenschrank erwärmt. Die trockene Masse läßt man, vor Staub geschützt, 24 Stunden lang an der Luft stehen und bestimmt ihr Gewicht. Bestimmt man den Wasser- und Aschengehalt einer Anzahl auf einer Handmühle zermahlener ungekeimter Körner sowie der lufttrockenen Keimpflanzensubstanz, dann sind alle Werte zur Ermittelung der Größe des recht erheblichen Trockensubstanzverlustes bei der Keimung im Dunkeln gegeben. Wenn einige Körner nicht keimen oder die Keimlinge sich schlecht entwickeln, so ist die Anzahl der zu entfernenden Untersuchungsobjekte zu bestimmen, und bei den Versuchen mit den relativ leichten Weizenkörnern begeht man keinen gar zu erheblichen Fehler, wenn man nun das ursprüngliche Gewicht der ausgelegten Körner unter Berücksichtigung des mittleren Gewichtes einer Körneranzahl, die der Anzahl der beseitigten Keimpflanzen entspricht, korrigiert.

Ca. 2 g genau abgewogener, sehr fein pulverisierter Körner- und Keimpflanzentrockensubstanz werden in Bechergläsern mehrfach mit destilliertem Wasser von gewöhnlicher Zimmertemperatur behandelt. Zur Erleichterung der Filtration leitet man in die Flüssigkeiten, die sich noch mit der Substanz in Berührung befinden, reine CO_2 (vergl. unter

124) ein und wäscht den Rückstand auf dem Filter mit CO_2-haltigem Wasser aus. Die Filtrate werden auf 200 ccm aufgefüllt. Je 50 ccm dienen zur Zuckerbestimmung (vergl. unter 124). 100 ccm der ursprünglichen Lösungen erhalten einen Zusatz von 7 ccm 25-proz. Salzsäure und werden unter Ersatz des verdunstenden Wassers 4 Stunden lang gekocht. Je 50 ccm dienen nach der Neutralisation mit Natronlauge zur Dextrinbestimmung (Zuckerbestimmung und Berechnung auf Dextrin).

Zur Bestimmung der Stärke in den Körnern und Keimlingen verwendet man je 2 g der genau abgewogenen Trockensubstanz. Dieselbe kocht man einige Zeit in einem Kolben von 500 ccm Kapazität mit 200 ccm H_2O zur völligen Verkleisterung der Stärke, setzt der Flüssigkeit einige Tropfen HCl hinzu und digeriert nach 2 Stunden bei 70° C. Nach dem Erkalten füllt man bis 500 ccm auf, läßt ruhig stehen und filtriert 200 ccm durch ein trockenes Filter ab. Das Filtrat versetzt man mit 15 ccm 25-proz. HCl, kocht 4 Stunden unter Ersatz des verdunstenden H_2O und füllt nach dem Erkalten wieder bis 200 ccm auf.

In je 50 ccm bestimmt man die Zuckermenge und rechnet, nach Abzug der früher ermittelten Zucker und Dextrinmenge, auf Stärke um.

Den Rückstand von der Behandlung mit Salzsäure, der auf einem Filter gesammelt und mit heißem Wasser ausgewaschen worden ist, kocht man $^1/_2$ Stunde mit 200 ccm 1-proz. Kalilauge, filtriert, kocht den Rückstand $^1/_2$ Stunde mit 200 ccm Wasser, sammelt das Ungelöste auf einem gewogenen Filter, wäscht mit heißem Wasser, Alkohol und Aether aus, trocknet und wiegt die erhaltene Rohfaser. Nach Abzug der in derselben enthaltenen Asche hat man annähernd genau den Zellstoffgehalt der Untersuchungsobjekte ermittelt. Die für die prozentische Zusammensetzung der Körner und Keimlinge gefundenen Werte sind auf absolute Menge der Untersuchungsobjekte (100 Teile Trockensubstanz der Körner und eine Keimpflanzenmenge, die diesen 100 Teilen entspricht) zu berechnen. Es ergibt sich namentlich, daß bei der Keimung viel Stärke verschwindet, dafür aber Zucker und Cellulose gebildet werden.

188. Auftreten von Zucker bei der Keimung des Mais.

Zum Versuch dient Pferdezahnmais. In ca. 2 g feinstens zermahlener Trockensubstanz bestimmt man genau in der unter 137 angegebenen Art den Zucker. Er ist nur in Spuren vorhanden.

Wenn man Maiskörner 8 Tage lang im Finstern in Sägespänen keimen läßt und in 1,8 g der Keimpflanzentrockensubstanz, die etwa 2 g der Trockensubstanz der Körner entspricht, den Zuckergehalt ermittelt (alles nach den unter 137 angegebenen Methoden), so findet man ziemlich viel Glykose in den Untersuchungsobjekten.

189. Verhalten des Fettes bei der Keimung von Cucurbita.

Einige Samen von Cucurbita Pepo werden genau gewogen (ca. 2 g). Man zerreibt die Samen unter Zusatz von etwas reinem Sand und unter Vermeidung jeden Substanzverlustes in einem Mörser und bestimmt den Fettgehalt der Samenmasse. (Methode unter 132). Die Samen enthalten sehr viel Fett. Nun bringt man Cucurbitakeimlinge im Dunkeln bei 20° C in Sägespänen so weit zur Ausbildung, daß das Hypokotyl und die Kotyledonen stark entwickelt sind. Wird eine ebenso große Anzahl Keimlinge wie Samen, welche zur Fettbestimmung dienten, nach der unter 137 angegebenen Methode getrocknet und ferner auf Fettgehalt geprüft, dann findet man nur sehr wenig Fett in den Pflanzen, da das-

selbe im Stoffwechsel verarbeitet worden ist. (Näheres über quantitative Bestimmung organischer Körper in Pflanzen vergl. bei KÖNIG, Untersuchung landwirtschaftlich wichtiger Stoffe, 1891.)

140. Süßwerden der Kartoffelknollen.

Im Abschnitt über den Einfluß der Beleuchtungsverhältnisse auf das Wachstum ist unter 194 „Experimente mit Kartoffelknollen" die Methode der Zuckerbestimmung angegeben. Wir untersuchen hier a) eben gereifte Kartoffelknollen, b) solche, die im November 3 Wochen lang im Zimmer bei 15—20° C verweilten, c) Knollen, die dann 3 Wochen bei 0—3° C im Keller lagen, d) Knollen von b, welche nachträglich in einem in einer Kältemischung (Schnee und Kochsalz) ruhenden Glase schnell gefroren waren. a) Die Knollen enthalten, je nach der Sorte, Zucker oder sie sind zuckerfrei. b) Die Knollen sind zuckerfrei. c) Zuckergehalt recht erheblich. d) Zuckerfrei. Das Gefrieren an sich ruft das Süßwerden der Knollen nicht hervor. Bei niederer Temperatur (0—3° C) häuft sich dagegen Zucker in den Knollen an, weil unter solchen Umständen die Atmung sehr wenig ausgiebig ist. Höhere Temperatur befördert die Atmung und den Prozeß der Zuckerbildung, jene aber in viel bedeutenderem Grade, als diese, so daß der produzierte Zucker schnell verarbeitet werden kann. (MÜLLER-THURGAU, Landw. Jahrbücher, Bd. 11.)

141. Das Reifen der Früchte und Samen.

a) Brassica. Wird ein dünner Querschnitt aus dem reifen Samen von Brassica Napus untersucht, so zeigt sich, daß die Samenschale aus einer Reihe verschiedener Schichten besteht. Von außen nach innen folgt zunächst auf eine aus zusammengedrückten Zellen bestehende, farblose Schicht eine andere, die aus braun gefärbten Zellen, deren Lumina ziemlich deutlich sind, zusammengesetzt ist. Daran schließt sich eine aus zusammengedrückten, braunen Zellen bestehende Schicht. Es folgt eine vierte Schicht, deren Zellen stark verdickt sind und deutliche Lumina erkennen lassen, während die fünfte Schicht, ebenso wie die erste, keine zellige Struktur mehr zeigt. Die zweite und dritte Schicht der Samenschale bedingen die braune Färbung des Samens. In den Zellen der gefärbten Kotyledonen sind reichliche Eiweiß- und Fettmengen vorhanden. Stärke fehlt dem reifen Samen vollkommen. Die sich entwickelnden noch unreifen Samen enthalten aber viel Amylum. Dasselbe strömt ihnen aus den Assimilationsorganen der Rapspflanze zu und wird schließlich vollkommen zur Fettbildung im Samen verbraucht. Wir stellen Querschnitte aus einer grünen Schote von Brassica Napus (man untersucht z. B. Mitte Mai 6—8 cm lange Schoten) her. Zwischen den beiden Fruchtblättern sieht man bei der Untersuchung die falsche Scheidewand. Das Fruchtgewebe selbst besteht aus einer stark cuticularisierten Epidermis, grünem und farblosem Grundgewebe, sowie einer Anzahl Gefäßbündel. Die jungen Samen sitzen an den verwachsenen Rändern der Fruchtblätter. Behandelt man Querschnitte mit Chloralhydrat und Jodkaliumlösung, so zeigt sich, daß Frucht- und Samengewebe viel Stärke enthalten.

b) Phaseolus. Wenn man von einer Bohnenblüte die Blumen- und Kelchblätter entfernt und den noch übrigen Teil der Blüte zur Herstellung von Querschnitten benutzt, so erblickt man bei der Untersuchung den monomeren Fruchtknoten umgeben von der geschlitzten Staubfadenröhre (9 Staubgefäße sind miteinander verwachsen, eins ist

frei). Der Fruchtknoten trägt die Ovula an seiner Bauchnaht. Sachs erhielt bei dem Studium des Reifens der Früchte und Samen von Phaseolus (Ph. vulgaris) namentlich folgende Resultate: Sogleich nach dem Abblühen findet sich sowohl in den Zellen der äußeren grünen als auch in denjenigen der inneren farblosen Schicht des Fruchtknotens keine Stärke. Nur in unmittelbarer Nähe der Gefäßbündel an der Bauch- und Rückennaht ist wenig Amylum vorhanden. Der Embryosack enthält keine Stärke (wohl infolge starken Verbrauches derselben). Amylum ist aber in der Umgebung des Embryosackes und im Parenchym des Funiculus vorhanden. Hat die Frucht eine Länge von 3 cm erreicht, so enthält die äußere grüne Schicht des Fruchtknotens Stärke, die innere farblose aber keine, dagegen viel Zucker. Im Funiculus und in nächster Umgebung des Embryosackes ist Stärke vorhanden. Der noch sehr kleine Embryo ist stärkefrei. Schreitet die Frucht- und Samenentwickelung weiter fort, so ist immer noch viel Stärke (aber kein Zucker) in dem Parenchym des als Zuleitungsorgan dienenden Funiculus zu finden, und auch in den Kotyledonen des sich ausbildenden Embryos häuft sich allmählich viel Amylum an.

IV. Nebenprodukte (Sekrete und Exkrete).

Als Material zur Bildung der Nebenprodukte des Stoffwechsels dienen natürlich direkt oder indirekt plastische Stoffe. Die Nebenprodukte entstehen durch Metamorphose organisierter Zellenbestandteile (z. B. Schleim der Leinsamen aus Membranstoffen der Epidermiszellen), bei Dissoziation der physiologischen Elemente oder bei Dekompositionen, denen die stickstofffreien Zersetzungsprodukte der Eiweißmoleküle unterliegen. Die Nebenprodukte treten als Sekrete und als Exkrete auf. Letztere müssen ausgeschieden werden, da sie das Leben des Organismus gefährden würden, wenn sie in demselben verblieben. Der Alkohol muß heute aber dennoch als nützliches Exkret betrachtet werden, denn er hat für die Hefe, wie Wortmann hervorhebt, insofern Bedeutung, als er dieselbe im Konkurrenzkampf mit anderen Pilzen und Bakterien schützt. Der Alkohol vergiftet diese Konkurrenten der Hefe.

Viele Sekrete (ätherische Oele, Schleime, Oxalatkristalle, Gerbstoffe) sind in besonderen Zellen der Gewebe von meist schlauchartiger Gestalt angesammelt. Die äußeren Drüsen (Drüsenhaare von Pelargonium zonale und Primula sinensis, Drüsenzotten vieler Knospenschuppen etc.) scheiden ätherische Oele oder diese im Gemisch mit Gummi als Sekrete nach außen ab. Das ätherische Oel bildet sich auf jeden Fall im Protoplasma, dringt in die Zellwand ein und tritt, die Cuticula zersprengend, nach außen hervor (Pelargonium, Primula). Die inneren Drüsen stellen schizogen oder lysigen entstandene Intercellularen dar. Schizogen sind z. B. die mit ätherischen Oelen angefüllten und von den sezernierenden Zellen umgebenen Sekretbehälter von Hypericum entstanden, während die ebenfalls mit ätherischem Oel erfüllten Sekretbehälter der Rutaceen lysigenen Ursprung haben. Bei der Bildung dieser letzteren lösen sich die Zellen auf, welche das Sekret produzierten. Endlich sind noch gangförmige Sekretbehälter (z. B. Harzgänge der Nadelhölzer), die vielfach schizogen gebildet werden und von sezernierenden Zellen umgeben sind,

zu unterscheiden. (Ueber Vorstehendes vergl. namentlich HABERLANDTS Physiolog. Pflanzenanatomie, 3. Aufl., 1904.)

Die Sekrete der Pflanzen, trotzdem sie keine Baustoffe sind, haben doch vielfach erhebliche Bedeutung für den Organismus. Zum Anlocken der Insekten dienen ätherische Oele und Farbstoffe. Gerbstoffe können antiseptisch wirken. Ausgeschiedenes Gummi wirkt transpirationsvermindernd. An der Luft verharzende ätherische Oele der Nadelhölzer bilden ein Schutzmittel für Wunden. Organische Säuren, die Pilzen auch als plastisches Material dienen können, kommen als Mittel zur Erhöhung des Turgors, zur Zersetzung von Nitraten, zur Neutralisation von Basen und, ebenso wie ätherische Oele, Gerbstoffe, Glykoside, Bitterstoffe, Alkaloide, als Schutzmittel der Pflanzen gegen Tiere (besonders Schnecken und Insekten) in Betracht. Uebrigens existieren neben solchen chemischen auch mechanische Schutzmittel der Pflanzen (Borsten, Raphiden) gegen Tierfraß. Auf Grund der sehr eingehenden Studien STAHLS (Pflanzen und Schnecken, Jena 1888) sind die pflanzenfressenden Tiere als Omnivoren (z. B. Helix hortensis und H. pomatia) und Spezialisten (z. B. Limaxarten, welche nur Pilze fressen, sowie Raupen des Wolfsmilchschwärmers), denen vorwiegend bestimmte Pflanzen zur Nahrung dienen, zu unterscheiden. Für die Spezialisten bilden vielfach Pflanzenstoffe ein Anlockungsmittel, die den Gewächsen den Omnivoren gegenüber als Schutzmittel dienen. Die Omnivoren sind natürlich die gefährlichsten Pflanzenfeinde unter den Tieren. Die zu ihrer Fernhaltung dienenden Schutzmittel findet man oft besonders in den peripherischen Geweben oder in der Nähe der Gefäßbündel deponiert (ERRERA).

Im näheren kommen als Nebenprodukte des Stoffwechsels besonders in Betracht: 1) Farbstoffe (Anthocyan, gelbe Blütenfarbstoffe). 2) Gummiarten und Schleime. 3) Aetherische Oele (Terpentinöl, $C_{10}H_{16}$, sowie sauerstoffhaltige Oele) und Harze. 4) Bitterstoffe. 5) Glykoside (Salicin, Coniferin, Digitalin, sämtlich stickstofffrei, Indican, Solanin, stickstoffhaltige Körper). 6) Alkaloide (Coniin, Nikotin, Chinin, Strychnin, Morphin, sämtlich stickstoffhaltig) und die verwandten Ptomaine der Bakterien. 7) Gerbstoffe. 8) Organische Säuren (Oxal-, Zitronen-, Aepfel- und Weinsäure und deren Salze).

Gerbstoffe können von Pilzen verarbeitet werden. Im Organismus höherer Pflanzen entsteht der Gerbstoff (primärer Gerbstoff) in den Blättern. Die Assimilate liefern das Material zu seiner Bildung, und daher häuft sich der Gerbstoff vielfach nur bei Lichtzutritt und CO_2-Gegenwart in den Blättern an. Aus diesen Organen wandert der Gerbstoff an die Orte der Ablagerung (Rhizome, Holz, Rinde). Sekundärer Gerbstoff ist solcher, welcher (z. B. bei der Keimung von Vicia und Phaseolus) im Dunkeln neugebildet wird. (KRAUS, Grundlinien zu einer Physiologie der Gerbstoffe, Leipzig 1889; BÜSGEN, Beobachtungen über das Verhalten der Gerbstoffe in der Pflanze, Jena 1889.)

Manche organische Säuren (Buttersäure etc.) bilden sich bei anaërober Lebenstätigkeit der Bakterien. Die meisten organischen Säuren entstehen, wie es scheint, durch unvollkommene Oxydationen bei der normalen Atmung. Die Anhäufung freier Säure in den Zellsäften schreitet infolge regulatorischer Vorgänge immer nur bis zu einem für die Pflanze nicht nachteiligen Maße fort (PFEFFER), und WEHMER fand für Aspergillus und Penicillium, daß diese Pilze ungemein reichliche Oxalsäuremengen produzieren, wenn die gebildete Säure immer wieder durch Zusatz von Karbonaten zur Kulturflüssigkeit neutralisiert wird. Bei den Crassu-

laceen (sicher auch bei manchen anderen Pflanzen) ist ein auffallender periodischer Wechsel der Acidität ihrer Säfte zu konstatieren. Produktion von Isoäpfelsäure und Zersetzung, resp. Bildung derselben durch Basen laufen bei den Crassulaceen stets nebeneinander her. In der Nacht überwiegt aber die Säureproduktion; am Tage nimmt die Acidität der Säfte ab, weil höhere Temperatur und Lichteinwirkung die Säurezersetzung begünstigen. Nachts erzeugen die Crassulaceen und andere succulente Pflanzen dem Volumen nach weniger CO_2, als sie O aufnehmen, weil letzterer teilweise zur Säurebildung dient. Am Tage ist die O-Produktion größer als die CO_2-Aufnahme, weil die gesteigerte Säurezersetzung CO_2 liefert, welche assimilatorisch verarbeitet werden kann. (G. Kraus, Abhandlungen der Naturf. Gesellschaft zu Halle, Bd. 16; Warburg, Unters. aus d. bot. Institut zu Tübingen, Bd. 2.)

142. Nachweis organischer Säuren in der Pflanze.

a) Reaktion der Säfte. Die meisten Pflanzensäfte reagieren sauer, wie sich sofort ergibt, wenn man die frisch hergestellte Schnittfläche eines Stengels mit blauem Lackmuspapier in Berührung bringt. Das Plasma hat meist alkalische Reaktion.

b) Oxalsäure. Sie kommt in den Pflanzen als freie Säure, gebunden an Alkalien, und im Calciumoxalat (über dieses vergl. unter 29) vor. 20 g Blattstiele einer Begonie werden im Mörser mit 50 ccm Wasser zerquetscht. Zum Filtrat fügt man verdünnte Chlorcalciumlösung. Der entstehende weiße Niederschlag von oxalsaurem Kalk zeigt die Gegenwart der Oxalsäure an.

c) Zitronensäure. Eine Zitrone wird im Mörser zerquetscht, der Saft mit dem gleichen Volumen Wasser verdünnt und filtriert. Das Filtrat trägt man in Chlorcalciumlösung ein. Es entsteht keine Fällung. Ein Niederschlag von zitronensaurem Kalk entsteht aber, freilich erst nach längerer Zeit, wenn man die Flüssigkeit mit wenig Ammoniak versetzt.

d) Aepfelsäure. 30 g Blätter von Echeveria metallica im Mörser zerquetschen. Teil des Filtrates mit Chlorcalcium versetzen. Oxalsäure ist nicht vorhanden. Der Saft enthält aber reichlich äpfelsauren Kalk gelöst, welcher sich abscheidet, wenn man eine Portion desselben mit viel Alkohol vermischt.

e) Bestimmung der Acidität von Pflanzensäften. Handelt es sich darum, absolute Werte für die Acidität von Pflanzenteilen zu gewinnen, so werden die Untersuchungsobjekte gewogen, zerquetscht, der Brei mit etwas Wasser in dickwandigen Gefäßen 1 Stunde lang bei 80° bis 90° C im Wasserbade erwärmt, um CO_2 auszutreiben, auf ein Filter gebracht und mit möglichst wenig heißem Wasser ausgewaschen.

Bei Studien über die Aciditätsverhältnisse der Crassulaceen verfährt man am besten derartig, daß man die gewogenen Untersuchungsobjekte im Mörser zerquetscht, den Brei mit wenig Spülwasser in einem dickwandigen Glase auf dem Wasserbade 1 Stunde lang erwärmt (80—90° C), dann wieder mit etwas Spülwasser in den Mörser zurückbringt und direkt titriert. Zum Titrieren dient verdünnte Kali- oder Natronlauge, 1000 ccm H_2O und 1 g Aetzkali oder Aetznatron. Man fügt etwas Barytwasser zur Lösung, um CO_2 zu binden, dann zur Entfernung eines geringen Barytüberschusses Natriumsulfat. Aufbewahrung der Lösung im Apparat Fig. 86, der mit einer Bürette in Verbindung steht. Indikator Phenolphtalein, wenn man es mit klaren Säften zu tun hat, Curcumapapier,

ɔnn ein Brei titriert werden soll. Bei vergleichenden Untersuchungen ; es gar nicht erforderlich, den Titer der Kali- oder Natronlösung ɜtzustellen. Dies kann übrigens leicht mit Hülfe von Oxalsäure gehehen. (Vergl. Mohr, Lehrbuch der analytischen Titriermethoden.) ergl. auch S. 135.)

143. Verhalten der organischen Säuren bei den Crassulaceen.

a) Aenderung der Acidität des Saftes. Wir entnehmen nem kräftigen Exemplar von Rochea falcata, das am Tage direktem ɔnnenlicht ausgesetzt war, gegen Abend (5 oder 6 Uhr) 2 opponierte lätter. *a* wird sofort auf seinen Säuregehalt geprüft; *b* verweilt bis ım nächsten Morgen im Dunkeln in feuchter Luft unter einer großen lasglocke, um dann acidimetrisch geprüft zu werden. (Methode vergl. ıter 142.) Gewicht von *a* 12,6 g, von *b* 13,6 g. Der Brei von *a* berfte 2,6 ccm, derjenige von *b* 12,5 ccm einer verdünnten Kalilauge ır Neutralisation, oder auf je 10 g Blattmasse berechnet, 2,1 und 9,2 ccm .alilauge. Lichteinfluß und höhere Temperatur vermindern, Dunkelheit ·höht den Säuregehalt der Pflanzensäfte.

b) Säurezersetzung im Licht. Das folgende Experiment ist ıit Rücksicht auf die Frage nach den Ursachen der Entsäuerung der flanzensäfte unter dem Einfluß des Lichtes von Interesse. Ein Reagensɔlas wird völlig mit einer Lösung von 0,2 Aequiv. Oxalsäure angefüllt. fan fügt der Lösung etwas frisch bereitetes Eisenoxydhydrat hinzu dargestellt durch Vermischen einer Eisenchloridlösung mit Ammoniak ınd sorgfältiges Auswaschen des Niederschlages auf einem Filter). Die ılsbald intensiv gelb gefärbte Lösung wird im Reagensglas über Quecksilber direktem Sonnenlicht ausgesetzt. Es bildet sich ein Niederschlag von oxalsaurem Eisenoxydul, und CO_2 entwickelt sich. Ebenso können auch in den Pflanzen bestimmte Stoffe bei Lichtzutritt Säurezersetzung hervorrufen, ganz abgesehen von dem überdies möglichen direkten Einfluß des Lichtes auf diesen Prozeß.

c) Temperatureinfluß. Experimente über den Einfluß der Temperatur auf die Säurezersetzung wären mit 2 Rocheablättern oder mit den beiden Hälften eines großen Blattes von Echeveria metallica derartig auszuführen, daß man das eine Blatt, resp. die eine Blatthälfte morgens direkt auf Acidität prüfte, die Kontrollobjekte aber erst, nachdem sie 12 Stunden lang in einem Thermostaten bei 30° C im feuchten, dunklen Raum verweilt haben. Höhere Temperatur ruft starke Entsäuerung der Blätter hervor.

d) Sauerstoffkonsum bei der Säurebildung. Bei Demonstrationsversuchen wird einer Rocheapflanze am Abend eines heißen Sommertages ein Blatt entnommen, welches man in Stücke zerschneidet. Die Blattstücke (z. B. 24 g) gelangen in ein retortenartiges Gefäß (vergl. Fig. 13), das mit seinem unteren Ende in Wasser eintaucht. Bei Lichtausschluß ist das Wasser nach längerer Zeit (z. B. 12 Stunden) bedeutend im Steigrohr emporgestiegen, da von den Pflanzenteilen mehr O konsumiert, als CO_2 produziert wurde. Experimentiert man mit nicht succulenten Untersuchungsobjekten, z. B. jungen Helianthusstengeln, so macht sich diese Erscheinung nicht geltend. Bei exakten Versuchen muß das Eudiometer natürlich in Quecksilber eintauchen, und man muß überhaupt in der unter 119 angegebenen Art arbeiten.

144. Gerbstoffe.

a) Makroskopisches. Etwas Eichenrinde von Zweigen abziehen und mit Wasser auskochen. Der filtrierte Extrakt färbt sich auf Zusatz von sehr wenig Eisenchlorid blauschwarz.

Werden Blattstielquerschnitte von Saxifraga cordata mit Eisenchloridlösung betupft, so färben sich dieselben schwarz.

Querschnitte aus 30 cm langen etiolierten Stengelstücken von Vicia Faba werden auf einem weißen Teller mit Eisenchloridlösung betupft und zerquetscht. Die Pflanzenteile färben sich bläulichgrün.

b) Mikrochemisches. Längsschnitte aus dem Mark eines diesjährigen Rosenstengels. Das Mark besteht aus großen Zellen und aus kleinen Elementen, die der Länge nach verlaufende, untereinander verbundene Zellzüge bilden. Wir legen Schnitte des Markes in einen Wassertropfen, dem etwas Eisenchloridlösung hinzugefügt worden ist. Der Inhalt der kleinen Zellen färbt sich dunkelblau. Werden Schnitte aus dem Rosenmark in einen Tropfen 10-proz. Kaliumbichromatlösung gebracht, so sieht man den Inhalt der kleinen Zellen nach Auswaschen der Schnitte mit Wasser rotbraun gefärbt. (Sicherste Reaktion auf Gerbstoffe.)

c) Sekundärer Gerbstoff. Er entsteht auch im Dunkeln aus plastischem Material. Schnitte aus der Mitte etiolierter Stengel von Vicia Faba (30 cm lang) führen zumal im Rindenparenchym Gerbstoff. (Methode vergl. unter b). Viciasamen sind gerbstofffrei.

Quercuszweige läßt man im Frühjahr im Dunkeln treiben. Die jungen Blätter enthalten Gerbstoff, der neu gebildet oder aus den Achsenteilen der Sprosse eingewandert sein muß. Zu prüfen wäre auch, ob oder wieviel Gerbstoff die Blätter in der Knospe führen. Man braucht die Blätter nur mit einem in verdünnte Eisenchloridlösung eingetauchten Glasstabe zu zerquetschen.

d) Primärer Gerbstoff. Seine Bildung ist, da er aus Assimilaten entsteht, indirekt vom Licht abhängig.

Wir ziehen von der Oberseite solcher Sambucusblätter, die sich teils im direkten Sonnenlicht (*a*), teils im tiefen Schatten (*b*) entwickelt haben, Epidermisstücke ab. Diese gelangen in Uhrschälchen mit 10-proz. Kaliumbichromatlösung in Kontakt, werden mit Wasser ausgewaschen und untersucht. Die Epidermiszellen von *a* führen viel reichlichere Mengen (primären) Gerbstoff, als diejenigen von *b*.

145. Farbstoffe.

a) Anthocyan der Blätter. Die Oberseite der Blätter von Orchis latifolia (nicht z. B. diejenige von O. militaris) ist mit braunen Flecken versehen. Untersucht man abgezogene Epidermisstreifen der ersteren Pflanze mikroskopisch, so findet man, daß manche Zellen der Oberhaut im Zellsaft gelösten violetten Farbstoff führen. Hier und in vielen anderen Fällen, namentlich bei tropischen Pflanzen, dient der Farbstoff als wärmeabsorbierendes Mittel zur Transpirationsförderung (Stahl). Die buntblätterigen Varietäten von Corylus und Fagus führen reichliche Anthocyanmengen in den Epidermiszellen, nicht im Mesophyll.

Die jungen Blätter der Eiche enthalten roten Farbstoff im Mesophyll, zumal im Palisadenparenchym. Für viele Pflanzen des hohen Nordens ist festgestellt, daß ihre Stengel und Blätter (Epidermis und Mesophyll) anthocyanreich sind. Im Schwammparenchym der grundständigen Blätter von Thlaspi montanum (ähnlich verhalten sich andere einheimische

flanzen) sind vielfach, zumal in der Nähe der Mittelrippe, violette Farbstoffe vorhanden. Das Anthocyan dient wohl in diesen Fällen, indem Wärmestrahlen aus der Luft oder vom Boden reflektierte Wärmestrahlen absorbiert, zur Temperatursteigerung der Organe. Diese ist ber für beschleunigte Assimilation und erhöhten Stoffwechsel oft sehr ichtig. Ein mit Haaren besetzter Epidermisstreifen von der Mittelppe der Blattunterseite von Begonia Rex wird bei schwacher Verößerung (ohne Deckglas) untersucht. Lassen wir sehr verdünntes mmoniak zum Objekt treten, so nimmt der vorher rote Zellsaft eine üngelbe bis blaue Farbe an. Zusatz sehr verdünnter SO_3 ruft wieder otfärbung des Saftes hervor.

b) Holzfarbstoffe. Die Membranen des Kernholzes von Caesalnia echinata (Fernambukholz) führen einen in Wasser schwer löslichen arbstoff. Wird zerkleinertes Kernholz der genannten Pflanze mit ißem Wasser behandelt, so nimmt das gelöste Pigment (Brasilin) auf mmoniakzusatz eine blutrote Farbe an.

c) Anthocyan der Blüten. Wir untersuchen Epidermisstreifen er Blumenblätter einer Vincaart und einer roten Rose. Der Zellsaft er Zellen enthält blauen, resp. roten Farbstoff in Lösung.

20 g Blumenblätter dunkelroter Rosen nach dem Zerschneiden mit 00 ccm H_2O im Mörser zerquetschen. Filtrat mit wenig Ammoniak verätzen. Die Lösung nimmt eine grünliche Farbe an. Auf Zusatz von HCl ird sie wieder rot. Zusatz von Ammoniak färbt sie nunmehr blau.

d) Anthoxanthin. Dieser Körper der Carotingruppe ist meist n Chromoplasten an eine protoplasmatische Grundmasse gebunden. Wir tellen Flächenschnitte von der Oberseite der Kelchlätter eben geöffneter Blüten von Tropaeolum ajus her. Zumal in den Epidermiszellen sind zahleiche eckige, gelb gefärbte Farbkörper zu sehen. Vergl. Fig. 98.) Die braunen Streifen an der berseite der Kelchblätter rühren daher, daß die etreffenden Epidermiszellen karminroten Zellsaft ühren.

Fig. 98. Von der Oberseite des Kelches von **Tropaeolum majus.** Untere Wandung einer Epidermiszelle mit den ir anliegenden Farbkörpern. Vergr. 540. (Nach STRASBURGER.)

13 g Zungenblüten von Taraxacum werden mit 00 ccm Alkohol übergossen. Nach längerer Zeit z. B. 12 Stunden) filtriert man die gewonnene gelbe ösung ab. Man kann sie nun spektroskopisch untersuchen. Methode ergl. unter 13. (Näheres bei HANSEN, Verhandlg. d. Physik.-med. esellschaft zu Würzburg, Neue Folge, Bd. 18, No. 7.)

Aus dem Köpfchen von Taraxacum isolierte Zungenblüten werden uf den Rand eines weißen Tellers gelegt. Man bringt mittelst eines lasstabes konzentrierte SO_3 oberhalb der Blüten auf den Rand. Indem die Säure herabfließt und mit den Blüten in Kontakt gerät, färben ich diese infolge Zersetzung des Anthoxanthins blau.

146. Aetherische Oele und Harze.

Aus ca. 4 mm dicken Stengeln von Aristolochia Sipho werden Quer- und Längsschnitte hergestellt. Zumal im Parenchym zwischen

Sklerenchymring und Bast sind einzelne „kurze Schläuche“ zu sehen, die gelben, das Licht stark brechenden Inhalt, eben ätherisches Oel, führen. Alkoholzusatz zum Schnitt löst das ätherische Oel auf.

Nicht gar zu dünne Querschnitte aus jungen Stengeln von Ruta graveolens lassen im grünen Rindenparenchym das Vorhandensein intercellularer Sekretbehälter, die gelb gefärbtes ätherisches Oel führen, leicht erkennen.

Harzgänge sind gut bei der Untersuchung sehr zarter Querschnitte aus den Nadeln von Pinus silvestris oder P. Pinaster zu sehen; Epidermis mit Spaltöffnungen (Schließzellen, Spalte, Vorhof, Atemhöhle), Sklerenchym (zumal an den Kanten entwickelt), grünes Gewebe, Endodermis, chlorophyllfreies Gewebe mit 2 Gefäßbündeln, deren Bastteile der konvexen Schnittseite zugewandt sind. Im grünen Gewebe die Blätter des Terpentinöls, das durch Sauerstoffaufnahme leicht verharzt. Jeder intercellulare Sekretbehälter wird von einer Schicht dünnwandigen Epithels (es liefert das Material zur Bildung des ätherischen Oeles) und von einer Scheide stark verdickter Sklerenchymfasern umsäumt. Ein schönes Bild erhält man bei Behandlung eines Schnittes mit Phlorogluzin und HCl. (Vergl. Methode unter 50.) (Ueber Reaktionen der Harze vergl. Zimmermann, Botan. Mikrotechnik, 1892.)

147. Gummiarten und Pflanzenschleime.

Das Tragantgummi entsteht durch Desorganisation der Mark- und Markstrahlzellen verschiedener Astragalusarten. Es stellt das Gummi keine homogene Masse dar, und wenn daher man das käufliche Material (etwa 1 g) mit viel kaltem Wasser in Berührung bringt, so entsteht eine Lösung des eigentlichen Tragantgummis, während das Ungelöste, wie die mikroskopische Untersuchung lehrt, aus Stärkekörnern und Zellhautfragmenten besteht.

Untersucht man einen Querschnitt aus der Knolle von Orchis mascula oder O. Morio, so zeigt sich, daß das Parenchym, in welchem die Gefäßbündel zerstreut liegen, aus kleinen, stärkereichen Zellen und großen Zellen besteht, die sehr schleimreich sind. Behandelt man käuflichen Salep (5 g) mit kaltem Wasser (100 ccm), so erhält man beim Filtrieren eine Flüssigkeit, in der sich auf Alkoholzusatz flockige Massen des in Alkohol unlöslichen Ochideenschleimes abscheiden. Die wässerige Lösung des Schleimes hinterläßt beim Eindampfen einen etwas gelblich gefärbten, amorphen Rückstand.

Der Schleim der Leinsamen ist bereits unter 86 d besprochen worden. Die Gummi- und Schleimarten sind in chemischer Beziehung noch wenig genau bekannt, und wir unterlassen es daher hier, auf ihr Verhalten zu Jodreagentien und Rutheniumrot einzugehen. Man unterscheidet neuerdings Schleime, die von Pektinverbindungen, und solche, die von Cellulose abstammen.

148. Nachweis von Alkaloiden und anderen Stoffen in der Pflanze.

a) Strychnin (Alkaloid). Schnitte aus dem hornigen Endosperm der Samen von Strychnos nux vomica. Dickwandige Zellen, deren Inhalt aus Eiweiß, Zucker und fettem Oel besteht. Der Zellinhalt färbt sich in wenigen Minuten rötlich, wenn die Schnitte in einen Tropfen konzentrierter Schwefelsäure gelegt werden. Nun bringen wir ein Splitterchen Kaliumbichromat in die Nähe des Schnittes und legen das Deckglas auf. Membranen ungefärbt; Zellinhalt färbt sich in einiger Zeit schön violett. (Strychninreaktion.)

b) Berberin (Alkaloid). Schnitte aus 6 mm dicken Zweigen von Berberis. In der Rinde, dem Weichbast und den Phloëmstrahlen viele Zellen mit gelbem Inhalt (Berberin). Auch im peripherischen Holzteil ist Berberin als Einlagerung in die Membranen vorhanden. Bei Behandlung der Schnitte mit Alkohol und sehr verdünnter Salpetersäure (1:50 Wasser) verschwindet die gelbe Farbe der berberinführenden Elemente.

c) Colchicin (Alkaloid). Etwas dickere Schnitte aus der Knolle von Colchicum autumnale herstellen. Parenchym stärkereich. Zellen in der Nähe der Gefäßbündel führen gelblichen Inhalt (Colchicin). Die gelbe Farbe wird auf Ammoniakzusatz intensiver. Schnitte aus der Wurzel von Colchicum. Auf Ammoniakzusatz färbt sich zumal der Inhalt der Epidermiszellen intensiv gelb. (Ueber die erwähnten und folgenden Reaktionen vergl. Zimmermann, Botan. Mikrotechnik, 1892.)

d) Frangulin (Glykosid). Schnitte aus Zweigen von Rhamnus Frangula von 3 mm Durchmesser. Zumal der Bast färbt sich auf Zusatz alkoholischer Kalihydratlösung intensiv rot. Wasser ist auszuschließen. Rindenstreifen von Rhamnus werden auf ihrer Innenseite mit der Kalilösung betupft. Rotfärbung tritt nach einiger Zeit ein.

e) Salicin (Glykosid). Schnitte aus Zweigen von Salix fragilis ohne Wasserzusatz mit SO_3 behandeln. Nach einiger Zeit tritt auch makroskopisch sichtbare Rotfärbung ein.

f) Indican (Glykosid). Junge Blätter von Isatis tinctoria (aus der Region des Blütenstandes) werden in ein größeres Glasgefäß gebracht. In dieses stellt man auch ein Gläschen, welches Ammoniak enthält. Nach 24 Stunden gelangen die Blätter in Alkohol. Nach abermals 24 Stunden zerreibt man die Blätter fein, übergießt das Pulver mit Alkohol und läßt einen Tag lang stehen. Man sammelt das Blattpulver auf einem Filter, wäscht mit Alkohol aus und trocknet es, um es schließlich in Chloroform einzutragen. Dieses nimmt das aus dem Indican der Blätter beim Absterben derselben durch Wirkung eines Ferments gebildete Indigblau auf und färbt sich blau. (Molisch.)

g) Leptomin (Ferment, von Raciborski entdeckt). Aus Stücken vorjähriger Aristolochiastengel, die in Alkohol gelegen haben, werden Schnitte hergestellt. 15-proz. alkoholische α-Naphtollösung mit Wasser versetzen, bis sich Naphtol abzuscheiden beginnt, dann Alkoholzusatz, bis Naphtol wieder gelöst. Man läßt die Schnitte $^1/_4$ Stunde lang in einem verschlossenen Glase mit der Lösung in Kontakt und legt sie dann auf dem Objektträger in einen Tropfen Wasserstoffsuperoxyd. Zumal der Bast ist leptominhaltig. Seine Elemente färben sich violettblau.

149. Nebenprodukte als Schutzmittel der Pflanze gegen Tiere.

a) Chemische Schutzmittel. Man sammelt eine Anzahl Schnecken, z. B. Helix pomatia und H. hortensis. Den Tieren wird 2—3 Tage lang kein Futter verabreicht, damit sie, wenn die eigentlichen Versuche beginnen sollen, recht hungrig sind. Je 2 oder 3 Exemplare von Helix pomatia oder eine größere Zahl von Individuen der kleineren Schnecken gelangen nun in geräumige Kristallisierschalen, deren Boden mit Wasser benetzt ist und die man mit Glasplatten bedeckt. Diese Platten beschwert man, um das Auskriechen der Tiere zu verhindern. Den Schnecken in den Kristallisierschalen wird verschiedenartige Nahrung dargeboten. Wir wollen mit folgenden Blättern

experimentieren: Trifolium pratense (gerbstoffhaltig), Rumex, Oxalis (säurereich), Ruta graveolens (reich an ätherischem Oel), Ranunculus acris und Tropaeolum majus. In die Kristallisierschalen zu den Schnecken gelangen je ein oder einige frische Blätter dieser Pflanzen; zugleich aber bieten wir den Tieren noch Blätter dar, die zur Extraktion der chemischen Schutzmittel zunächst durch Erwärmen mit Alkohol ausgezogen, dann an der Sonne oder im Trockenschrank ausgetrocknet und endlich mit destilliertem Wasser ausgewaschen worden sind. Da die Schnecken besonders abends und nachts fressen, so empfiehlt es sich, die Kristallisierschalen mit den Tieren und Blättern stets längere Zeit stehen zu lassen. Die frischen Blätter werden gar nicht oder nur wenig von den Schnecken berührt; die extrahierten vertilgen sie schnell. Auch die folgenden Versuche lehren bestimmt, daß z. B. Gerbstoffe und Pflanzensäuren den Pflanzen einen ausgezeichneten Schutz gegen Schneckenfraß gewähren müssen. Man bietet den in Kristallisierschalen verweilenden Schnecken einmal dünne Scheiben der Möhre (Daucus carota) dar, daneben aber auch solche Möhrenscheiben, die in siedendem Wasser getötet, im Ofen getrocknet und endlich in einer 1-proz. Gerbstofflösung oder 1-proz. Lösung von saurem oxalsaurem Kali aufgeweicht worden sind. Die frischen Möhrenstücke werden von den Schnecken sehr gern gefressen; die gerbstoff- und säurehaltigen Scheiben verschmähen sie durchaus.

b) Mechanische Schutzmittel. Wir legen einigen in Kristallisierschalen befindlichen Schnecken unversehrte Blätter von Symphytum officinale oder Borago officinalis vor. Zugleich erhalten die Tiere Blätter dieser Pflanzen im zerquetschten Zustande. Diese letzteren Blätter werden gern von den Versuchstieren gefressen; sie rühren die unversehrten Blätter dagegen kaum an, da diese durch die Borstenhaare geschützt sind. Bei Untersuchung von Epidermisstreifen der Symphytumblätter kann man sich leicht über die Natur der Borstenhaare orientieren.

Blätter von Arum maculatum werden selbst von sehr hungerigen Schnecken nicht gefressen. Diese Blätter sind durch Raphiden mechanisch geschützt, die sich, wenn die Pflanzenteile benagt werden, sofort in die Mundwerkzeuge der Tiere einbohren und dadurch eine höchst unangenehme Empfindung hervorrufen. Wenn man kleine Stücke der Arumblätter zerkaut, so nimmt man einen intensiv brennenden Geschmack wahr, der ebenfalls durch die Raphiden verursacht wird. Der durch Behandlung zerquetschter Arumblätter mit wenig Wasser gewonnene und nicht filtrierte Extrakt ruft, auf die Zunge gebracht, die nämliche Empfindung hervor, während der durch Filtrieren von den Raphiden befreite Saft nur süßlich schmeckt. Nach neueren Untersuchungen sollen die Raphidenzellen einen das Brennen verursachenden Giftstoff enthalten.

V. Stoffwanderung.

1) Allgemeines. Stoffwanderungen müssen in der Pflanze in großem Umfange stattfinden, um das plastische Material vom Entstehungsorte zu den Verbrauchs- und Ablagerungsorten oder von diesen zu den Verbrauchsorten (z. B. aus den Reservestoffbehältern der Samen in die wachsenden Keimteile) zu führen. Dabei bewegen sich die plastischen

Körper und Mineralstoffe je nach Bedürfnis von oben nach unten, von unten nach oben oder in horizontaler Bahn. Von größter Wichtigkeit ist es, bei der Beurteilung der Stoffwanderung in der Pflanze nie zu vergessen, daß die in Betracht kommenden Prozesse in ihrem Verlauf in erster Linie durch den Verbrauch des translozierten Materials reguliert werden. In den höheren Pflanzen sind mit fortschreitender Gewebsdifferenzierung besondere Bahnen zur Ausbildung gelangt, die in erster Linie dem Stofftransport dienen.

2) Leitungsbahnen. Während die Zellen des Holzparenchyms und der Markstrahlen hauptsächlich zur Speicherung plastischen Materials dienen, findet in den wasserleitenden trachealen Elementen des Holzes nicht selten eine Translokation von Mineralstoffen und Zucker statt. In der Tat führen manche Gefäße auch selbst im Sommer Glykose.

Kambiform und Bastparenchym dürften in erster Linie lokaler Leitung von Eiweißstoffen und Kohlehydraten und auch der Speicherung dieser Stoffe, Geleitzellen der Eiweißspeicherung dienen (Haberlandt), während die Siebröhren des Bastes die allerwichtigsten Leitungsbahnen der höheren Pflanzen darstellen. Dies lehren die Resultate der Ringelungsversuche, sowie mikroskopische Befunde, durch die festgestellt werden konnte, daß der in den miteinander kommunizierenden Siebröhrengliedern vorhandene und von einem lebendigen Plasmaschlauch umgebene Schleim, abgesehen von reichlichen Eiweißmengen, auch Stärke, Fette, Amide, H_3PO_4 (in Verbindungen) enthält.

In Milchsaftbehältern ist der die Rolle des Zellsaftes spielende eigentümliche Inhalt nach Molisch von einem Plasmaschlauch umgeben. Trotzdem der Milchsaft oft Eiweiß, Zucker oder Stärke enthält und sich die Quantität dieser Stoffe im Milchsaft hungernder Pflanzen vermindert, dürfte den Milchsaftbehältern doch wohl nur geringe Bedeutung als Leitungsbahnen zukommen. Der Milchsaft dient vor allen Dingen gewiß als Mittel zum Wundverschluß und als Schutzmittel der Pflanzen gegen Tiere (vergl. Kniep, Ueber die Bedeutung des Milchsafts der Pflanzen, Flora 1905).

Kohlehydrate und Fette können freilich in den Siebröhren translociert werden, aber vielfach geschieht dies auch im Parenchym der Rinde und des Markes, Gewebekomplexen, welche überdies Amide (Asparagin) leiten. In vielen Blattspreiten und Blattstielen sind für den nämlichen Zweck in der Nähe der Gefäßbündel besondere Leitscheiden (Stärke- und Zuckerscheiden) ausgebildet. Die sogenannte Stärkescheide der Stengel dient anderen Zwecken, und die Endodermis (Schutzscheide), deren Zellen mit verkorkten Membranen versehen sind, hat mechanische Aufgaben und schließt die Wasserleitungsbahnen gegen das peripherische Gewebe ab. Gute Abbildung der Schutzscheide mit ihren Durchlaßzellen bei Haberlandt, Physiol. Pflanzenanatomie, 2. Aufl., S. 317. (Hanstein, Jahrbücher f. wissensch. Botanik, Bd. 2; Sachs, Flora, 1863; Fischer, Jahrb. f. wissensch. Botanik, Bd. 22; Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 3; Schimper, Botan. Zeitung, 1885; Czapek, Berichte d. Deutschen botan. Gesellschaft, 1897.)

3) Bewegende Kräfte. Gelöste Stoffe (Glykose, die vielfach erst aus Stärke durch Diastasewirkung entsteht, Asparagin etc.) können in der Pflanze auf diosmotischem Wege befördert werden. Plasmaströme werden die Bewegungen gelöster Körper in den Zellen beschleunigen. Auch die Plasmaverbindungen zwischen benachbarten Zellen sind gewiß bedeutungsvoll für den Stofftransport. Die Richtung, welche der Nähr-

stoffstrom bei der Diosmose nimmt, wird in erster Linie durch die Orte bestimmt, an denen das plastische Material zum Verbrauch gelangt. Die Schnelligkeit, mit der sich der Strom bewegt, ist (ganz abgesehen von der Qualität der zu passierenden Zellhäute und Plasmaschichten) in hohem Maße abhängig von der Ausgiebigkeit der Verarbeitung. Bei der Glykosewanderung muß transitorische Stärkebildung die Geschwindigkeit des Transportes der Kohlehydrate wesentlich befördern. Für die Massenbewegung des Siebröhrenschleimes, die durch Turgor benachbarter Zellen und Gewebespannung vermittelt wird, ist ebenso wie für diosmotischen Transport plastischen Materials der Verbrauch äußerst maßgebend. Denn solcher Verbrauch schafft Raum für nachströmende Körper und erleichtert dadurch ihre Translokation. (Näheres in PFEFFERS Handbuch.)

150. Experimente mit Blättern.

a) Auflösung der Stärke im Dunkeln. Wir experimentieren mit den Blättern von Tropaeolum, Solanum, Nicotiana, Atropa, Cucurbita oder Phaseolus. Am Abend eines warmen Sommertages abgeschnittene Blätter sind sehr stärkereich. Entnehmen wir den Pflanzen nach einer warmen Nacht bei Sonnenaufgang Blattstücke, so ergibt sich mit Hülfe der Jodprobe, daß die Blätter fast oder völlig stärkefrei sind. Das Amylum ist aufgelöst und fortgeführt worden. (Methode unter 18.)

b) Verhalten abgeschnittener Tropaeolumblätter. In Töpfen kultivierte Tropaeolumpflanzen dienen zum Versuch. Pflanzen, in deren Blättern wir die Anwesenheit reichlicher Stärkemengen konstatiert haben, werden ins Dunkle gestellt. Wir schneiden auch einige Blätter von den Tropaeolumpflanzen ab und bringen diese ebenfalls unter einer Glasglocke auf feuchtem Fließpapier ins Dunkle. Nach mehreren Tagen (12—15° C), oder bei höherer Temperatur schon viel früher, werden die Blätter makroskopisch auf Stärke geprüft. Die nicht abgeschnitten gewesenen Organe enthalten höchstens in den Nerven Stärke. Die abgeschnitten gewesenen Blätter sind noch mehr oder minder stärkereich, da das Amylum nicht aus ihnen auswandern konnte.

c) Experimente mit Impatiens parviflora. Die Pflanze ist leicht an etwas schattigen Orten im Garten zu kultivieren. Die Jodprobe ergibt, daß abends abgeschnittene Blätter stärkereich sind; es fällt aber auf, daß die Nerven im Vergleich zum Mesophyll nur wenig Stärke führen und daher in der Jodlösung eine gelbe oder nur schwach bläuliche Farbe annehmen. Werden Impatienspflanzen in Töpfen kultiviert und an der Pflanze belassene sowie abgeschnittene Blätter nach 2—3 Tagen makroskopisch auf Stärke geprüft (die Untersuchungsobjekte verweilen während dieser Zeit im Dunkeln), so findet man sämtliche Blätter stärkefrei. Bei Impatiens wird also das Lösungsprodukt der Stärke, nämlich die Glykose, welches auch in den im Dunkeln verweilenden, abgeschnittenen Blättern entsteht, nicht wieder (oder nur in beschränktem Maße) in transitorische Stärke übergeführt, während dies in den abgeschnittenen Tropaeolumblättern geschieht. (SCHIMPER.)

d) Leitscheide der Blätter von Impatiens. Wir stellen Querschnitte durch ein Blatt von Impatiens her. Palisaden- und Schwammparenchym sind vorhanden. Der Hauptnerv besteht aus mehreren Gefäßbündeln, deren Bastteil von einer Stärkeschicht überzogen ist, und aus langgestreckten, chlorophyllarmen, peripherisch gelegenen Zellen. Die Gesamtheit dieser letzteren Elemente bezeichnet man als Leitscheide.

Es ist schon erwähnt worden, daß die Nerven (zumal die dickeren Nerven) der Blätter normaler Impatienspflanzen auf jeden Fall stärkearm sind. Werden solche Pflanzen kurze Zeit (z. B. 24 Stunden bei nicht zu hoher Temperatur) verdunkelt, so tritt bei der makroskopischen Stärkeprüfung die Stärkearmut der Nerven noch klarer hervor. Dieselben heben sich als gelbes Netz vom blau tingierten, noch ziemlich amylumreichen Mesophyll ab.

Impatienspflanzen und abgeschnittene Blätter derselben (diese letzteren unter Glasglocke in feuchter Luft) verweilen 48 Stunden im Dunkeln. Sämtliche Blätter fast oder völlig stärkefrei. Prüfung auf Glykose (Methode unter 124) ergibt, daß in den Zellen der Leitscheide der abgeschnitten gewesenen Blätter viel Zucker vorhanden ist, während die entsprechenden Zellen der nicht abgeschnittenen Blätter zuckerarm erscheinen.

151. Experimente mit Zweigen.

a) Herbstliches Stärkemaximum. Aststücke von Betula, Tilia, Fagus und Corylus von etwa $1^1/_2$ cm Durchmesser werden im Herbst gleich nach dem Laubfall der Bäume auf Stärke untersucht. (Methode unter 123 b.) In den Markstrahlen sowie im Holzparenchym und Rindenparenchym ist viel Stärke vorhanden, welche von den Blättern gebildet und hier abgelagert worden ist. Neben der Stärke führen aber auch bei vielen Bäumen gewisse Elemente des Holzes und der Rinde Glykose. Wir experimentieren z. B. mit fingerdicken Aststücken von Betula und Rhamnus und verfahren genau nach der unter 124 c angegebenen Methode. Markstrahlen, Holzfasern und Holzparenchym sind meist zuckerfrei. Die Gefäße enthalten reichliche Zuckermengen.

b) Winterliches Stärkeminimum. Dasselbe kann schon im Dezember völlig eingetreten sein und etwa bis Anfang März dauern. Untersucht man $1^1/_2$ cm dicke Aststücke von Corylus und Fagus, so enthält freilich das Holz noch viel Stärke; aus dem Rindengewebe ist das Amylum aber ausgewandert (Stärkebäume).

Wir untersuchen jetzt (Winter) $1^1/_2$ cm dicke Aststücke von Tilia auf Stärke. Stärke fehlt völlig. Im Mark ist Glykose vorhanden, während dasselbe im Herbste viel Stärke führte. Dagegen enthält die Linde im Winter, zumal in den Holz- und Bastmarkstrahlen, viel Fett (Fettbäume), wie mit Hülfe der unter 133 angegebenen Methode nachzuweisen ist.

c) Stärkebildung aus Fett im Winter. Lindenzweigstücke von einigen Centimetern Länge und $1^1/_2$ cm Dicke werden in Fließpapier eingewickelt und mit der Basis in Wasser gestellt. Der Versuch wird im Januar angestellt. Einige Zweigstücke (*a*) verweilen 2 Tage lang im Freien, andere (*b*) 2 Tage lang im Thermostaten bei 28° C. Nach angegebener Zeit ist *a* noch stärkefrei, *b* führt dagegen, zumal in den Bastmarkstrahlen, Amylum.

d) Frühlings-Stärkemaximum. Mitte April werden Aststücke von Corylus und Tilia auf Stärke untersucht. Im Holz und in der Rinde ist in allen Fällen Stärke vorhanden. Bei den Fettbäumen (Tilia) tritt die Stärke zuerst in der Rinde auf. Sie wird offenbar aus dem Fett regeneriert, welches seinerseits im Winter ja auch aus Kohlehydraten hervorgehen muß.

e) Stärkeminimum des späteren Frühjahres. Nach Fischer ist Betula ein gutes Untersuchungsobjekt. Wenn die Blätter sich ent-

falten, werden die jüngeren Aeste etwa im Laufe von 14 Tagen stärkefrei; später verlieren auch die älteren Aeste Amylum.

Haben sich die Blätter der Bäume entfaltet, dann entstehen reichliche Mengen von Kohlehydraten in diesen Organen. Zucker und Stärke wandern in fortschreitend größerer Menge in die Stammgebilde ein, und auf solche Weise kommt schließlich das herbstliche Stärkemaximum zu stande, von dem unter a die Rede war.

152. Ringelungsversuche.

a) Experimente mit Salix. Am besten ist es, die Versuche mit Salix fragilis im Frühjahr auszuführen. Die etwa 200 mm langen und 12 mm dicken Weidenzweige werden an ihrer morphologischen Basis geringelt, indem man z. B. 40 mm von ihrem unteren Ende entfernt einen ca. 20 mm breiten Rindenring fortnimmt, wodurch also der Holzkörper an dieser Stelle freigelegt wird. Nun wird der Zweig in einem genügend hohen Glascylinder aufgehängt, indem man einen Bindfaden um das obere Zweigende schlingt und den Faden an einem Häkchen befestigt, der in dem die Oeffnung des Cylinders verschließenden Kork steckt. Der Boden des Gefäßes wird mit Wasser bedeckt, in welches das Zweigende aber nicht eintaucht. Die Innenwand des Cylinders ist mit Fließpapier auszukleiden. Aufstellung des Apparates im Dunkeln. Das Resultat eines Versuches (13. März bis 21. April) in Fig. 99 dargestellt. Die Ursache, weshalb an dem kurzen Zweigstück unter der Ringelungsstelle nur kurze Wurzeln produziert werden, ist darin zu suchen, daß in diesem Teil des Untersuchungsobjektes nicht genügende Mengen plastischen Materials zur Verfügung stehen. Stickstofffreie Substanzen können dem kurzen Zweigstück freilich eventuell zuströmen, denn das Weidenholz enthält viel Stärke (Methode zum Nachweis derselben vergl. unter 123 b). Die Eiweißzuleitung, welche in Siebröhren erfolgt, ist aber unterbrochen.

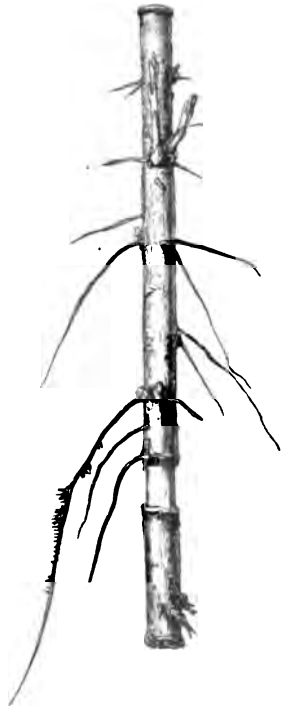


Fig. 99. Geringelter Zweig von Salix fragilis, an dessen oberem Teil kräftige Wurzeln und Triebe zur Entwickelung gekommen sind.

Wird keine vollständige Ringelung vorgenommen, sondern zwischen dem langen oberen und dem kurzen unteren Zweigstück ein senkrechter Rindenstreifen als Brücke stehen gelassen, so erfolgt eine relativ ausgiebige Wurzelbildung am unteren Zweigstück, da nicht unerhebliche Eiweißmengen die erwähnte Brücke passieren können.

b) Experimente mit Nerium. Ein reich beblätterter Sproß von Nerium Oleander wird 20 mm entfernt von seiner Basis geringelt. Unter Beihülfe von Watte befestigen wir den Sproß derartig in der Bohrung eines Korkes, der ein mit Wasser angefülltes Gefäß verschließt, daß der Sproß mit seinem unteren Ende etwa 80 mm weit in das

Wasser eintaucht. Aufstellung im Warmhaus. Nach einiger Zeit reichliche Wurzelentwickelung oberhalb der Ringelungsstelle. Später auch Wurzelentwickelung unterhalb der Ringelungszone, welche bei Salix bei 20 mm Länge des Aststückes unter letzterer überhaupt nicht eintritt. Bei Salix sind nur an der Peripherie der Elemente Weichbastelemente vorhanden. Nerium besitzt auf Außen- sowie Innenseite der Gefäßbündel Weichbast, so daß hier durch die Ringelung die Eiweißleitung keineswegs völlig unterbrochen wird.

c) Experimente mit Betula. Ein Ast von Betula (15 mm Durchmesser) wird im Sommer an seiner Basis, ohne ihn von der Pflanze abzutrennen, geringelt. Ringelungsstelle mit Stanniol umwickeln. Ast nach 2 Monaten abschneiden. Das Holz der Ringelungszone und das Holz des darüber liegenden Astteiles wird median gespalten. Mittelst eines Glasstabes verteilt man Jodglycerin auf den Schnittflächen. Es läßt sich schon makroskopisch konstatieren, daß das Holz der Ringelungsstelle sehr stärkearm ist, während das Holz oberhalb derselben recht viel Amylum führt. Danach dient die Rinde in erster Linie zur Leitung der durch Assimilation gewonnenen Kohlehydrate.

153. Leitscheiden.

a) Blätter. Wir stellen Querschnitte aus dem unteren Teil der Lamina und dem oberen Teil des Blattstieles eines ausgewachsenen Rübenblattes her. In dem Gewebe, welches die Gefäßbündel der Nerven und des Blattstieles umgibt, ist auf mikroskopischem Wege sehr wenig Stärke nachzuweisen. Dies Gewebe enthält aber reichliche Glykosemengen (Methode des Nachweises vergl. unter 124). Es stellt eine Leitscheide (speziell Zuckerscheide) für Kohlehydrate dar. (Vergl. auch unter 150 d.) Andere Blätter führen in der Leitscheide ihrer Nerven reichliche Stärkemengen (Stärkescheide). (Vergl. unter 150 b.)

b) Stengel. Wir stellen Querschnitte aus dem Epikotyl von Phaseolus, welches sich im Dunkeln entwickelt hat, her. Epidermis, Rinde, Mark sowie Gefäßbündelkreis sind leicht zu unterscheiden. Der letztere wird rings von einer Zellenschicht umgeben, deren Elemente reichlich Stärkemengen enthalten. Diese Gefäßbündelscheide wurde früher als hauptsächlichste Leitungsbahn der Kohlehydrate (Leitscheide, Stärkescheide) betrachtet. Diese Ansicht ist heute nicht mehr haltbar. Werden nämlich im Sommer Querschnitte aus dem unteren Stengelteile kräftiger, im Freien erwachsener Bohnenpflanzen hergestellt, so findet man die Gefäßbündelscheide sehr stärkearm. Die Gefäßbündel sind auf ihrer Außenseite mit einem mächtigen Bastfaserbeleg versehen, und danach dürfte die Gefäßbündelscheide, wie man annimmt, nur zum Transport des für die Ausbildung der Bastfasern erforderlichen Materials dienen. Ganz neuerdings wird hervorgehoben, daß die Gefäßbündelscheide vor allem die Aufgabe habe, geotropische Reize zu perzipieren; man könnte sie danach Perzeptionsscheide nennen (Haberlandt). Die Leitung der Kohlehydrate in der Bohnenpflanze und anderen Gewächsen kann freilich zum Teil im Weichbast erfolgen, aber namentlich findet sie gewiß im Rinden- und Markparenchym statt, Gewebe, die im Sommer bei Phaseolus auch tatsächlich reichliche Amylummengen enthalten.

154. Die Siebröhren und ihre Funktionen.

a) Reaktion des Inhaltes der Siebröhren. Der Stengel eines Exemplares von Cucurbita wird durchschnitten. Es quillt eine

schleimige Flüssigkeit hervor, welche die Schnittfläche bedeckt. Wir bringen ein Stück roten Lackmuspapieres auf den Querschnitt. Das Papier färbt sich, infolge alkalischer Reaktion des Schleimes, blau. Wird der Querschnitt wiederholt mit rotem Lackmuspapier abgetupft, so finden wir bald nicht mehr die Gesamtfläche des den Querschnitt berührenden Papieres gebläut, sondern es zeigen nur einzelne Stellen des letzteren diese Färbung, diejenigen nämlich, welche mit den Gefäßbündeln in Berührung gekommen sind. Bringen wir den Stengelquerschnitt nunmehr mit blauem Lackmuspapier in Kontakt, so färbt sich dasselbe mit Ausnahme einzelner Stellen (Gefäßbündel) rot. Der Saft des Parenchyms von Cucurbita reagiert sauer; der Schleim des Weichbastes der Gefäßbündel zeigt eine alkalische Reaktion. Bei anderen Pflanzen liegen die Verhältnisse ähnlich; sie sind aber nicht so leicht sicher festzustellen (SACHS).

b) Eiweißgehalt der Siebröhren. Wir stellen einen Querschnitt aus dem Hypokotyl von Cucurbita Pepo her. Es wird Alkoholmaterial benutzt. Weichbast ist in unserem Fall auf der Außen- sowie Innenseite der Gefäßbündel vorhanden. Dieser Weichbast enthält viel Eiweiß. (Methode zum Nachweis desselben vergl. unter 111 b.) Der alkalisch reagierende, eiweißreiche Schleim, welcher beim Durchschneiden von Cucurbitastengeln hervorquillt, ist in besonders großer Menge in den Siebröhren des Weichbastes vorhanden, eigentümlichen, langgestreckten Elementen, die durch mit vielen Poren versehene Querwände (Siebplatten) gegliedert sind. In den Siebröhren ist wandständiges Protoplasma vor-

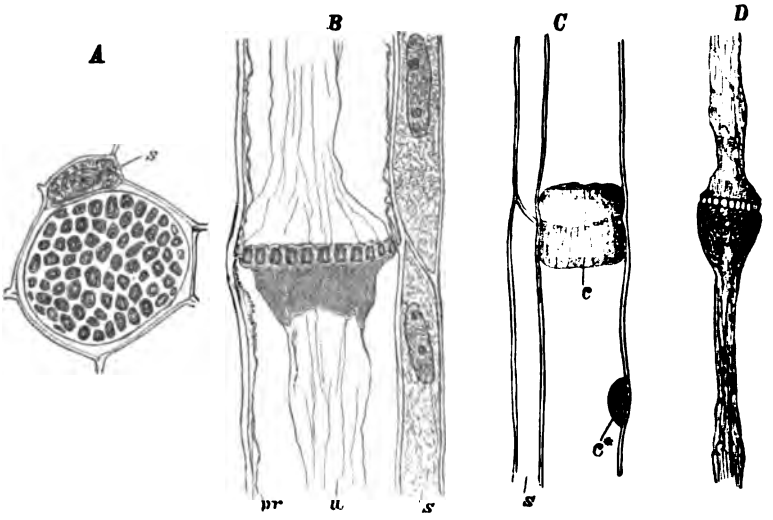


Fig. 100. Cucurbita Pepo. Teile von Siebröhren nach Alkoholmaterial. A im Querschnitt, B—D im Längsschnitt. A eine Siebplatte von oben, B und C die zwei anstoßenden Siebröhrenglieder von der Seite, D die verbundenen Inhaltsmassen zweier Siebröhrenglieder nach Schwefelsäurebehandlung. *s* Geleitzellen, *u* Schleimstrang, *pr* Protoplasmaschlauch, *c* Callusplatte, *c** kleine, einseitige Callusplatte eines seitenständigen Siebfeldes. Vergr. 540. (Nach STRASBURGER.)

handen, und ihr Inhalt kann unter Vermittelung der Siebporen aus einem Siebröhrengliede in ein anderes übertreten. Der Siebröhreninhalt steht unter dem Druck in der Nähe vorhandenen, turgeszierenden Parenchyms, und kann somit nach den Orten geringsten Widerstandes trans-

rtiert werden. Der Schleim der Siebröhren unterliegt einer Massen-
wegung, welcher für den Transport von Eiweißstoffen (und anderer
örper) große Bedeutung besitzt.

c) Siebplatten. Um Siebplatten recht deutlich zu sehen, stellen
ir Querschnitte aus einem 10 mm dicken Stengel von Cucurbita Pepo
lkoholmaterial) her. Bei schwacher Vergrößerung erkennt man die
idermis, das unterbrochene Kollenchym, das Rindengewebe, den
lerenchymring und die in doppeltem Kreise gruppierten Gefäßbündel
cht. Diese besitzen einen Holzteil mit sehr weiten Gefäßen und einen
neren sowie äußeren Bastteil. Der innere Bast- oder Siebteil umfaßt
e Innenseite des Holz- oder Gefäßteils sichelförmig. Zur genaueren
ntersuchung bei stärkerer Vergrößerung tut man nach STRASBURGER
t, die Schnitte kurze Zeit lang in Anilinblau zu legen, um sie dann
einem Tropfen Glycerin auf den Objektträger zu bringen. Das Ge-
be des inneren und äußeren Bastes besteht aus weitlumigen Sieb-
hren, deren Geleitzellen mit dunkelblau tingiertem Inhalt (vergl. Fig. 100)
d aus Bastparenchym. Die porösen Siebplatten sind, wo der Schnitt
lche getroffen hat, leicht kenntlich.

155. Der Milchsaft.

Schneidet man eine Euphorhia an, so quillt der, namentlich unter
m Druck des benachbarten Parenchyms stehende Milchsaft hervor.

Im Serum des Milchsaftes sind mehr oder minder große Mengen
ster Körper (Stärke, Kautschuk) suspendiert, wovon man sich leicht
erzeugen kann, wenn man einen Tropfen des Milchsaftes von Euphorbia
er Ficus elastica ohne Wasserzusatz bei starker Vergrößerung unter-
cht.

Wird ein Tropfen des Euphorbiamilchsaftes auf dem Objektträger
t Alkohol versetzt, so treten Gerinnungserscheinungen ein, indem sich
e ursprünglich gleichmäßig im Milchsaft suspendierten festen Bestand-
ile zu größeren Massen zusammenballen.

Aus einer Wurzel von Scorzonera hispanica (Alkoholmaterial) werden
ch Entfernung der oberflächlichen Rindenschichten tangentiale Längs-
hnitte hergestellt. Die leicht an ihrem Inhalt kenntlichen Milchsaft-
hälter stellen in unserem Falle vielfach untereinander anastomosierende,
nggestreckte Gefäße dar, welche das kleinzellige Parenchym durchziehen.

Ein Querschnitt des Stengels von Chelidonium majus (Alkoholmaterial)
gt die Epidermis, Kollenchym, grüne Rinde, einen geschlossenen
lerenchymring, einen entwickelten Bast- und Holzteil der Gefäßbündel.
Bast, aber auch in dem die Gefäßbündel umgebenden Grundgewebe,
blicken wir Elemente, die einen braunen Inhalt führen. Es sind dies
Milchsaftgefäße. Der im frischen Zustande orangerote Milchsaft von
elidonium ist infolge der Behandlung des Untersuchungsmaterials mit
kohol in seinen Behältern in einen geronnenen Zustand übergegangen.

156. Stoffakkumulation.

Die für die Anhäufung größerer Reservestoffmengen und für die Be-
hleunigung der Translokation plastischen Materials in der Pflanze so
ichtigen Stoffakkumulationen machen sich tatsächlich vielfältig im
ganismus geltend (Ablagerung der Kohlehydrate in Gestalt von Stärke,
ansitorische Stärkebildung etc.). Die folgenden Versuche sind ge-
gnet, uns eine Vorstellung von dem Wesen der Stoffakkumulation zu
ewähren.

Eine Porzellanschale enthält fast konzentrierte Kupfervitriollösu in die wir einen Zinkblechstreifen hineingelegt haben. Die Flüssigk wird allmählich farblos, während sich Kupfer und Kupferoxyd am Zi abscheiden. In der Pflanze wird z. B. die Glykose unter Vermittelu der Stärkebildner zur Amylumproduktion verwandt und dadurch einen erneuten Zustrom von Glykose zu der betreffenden Zelle Ra geschafft.

Akkumulation von Jod kann man konstatieren, wenn man in v dünnte Jodjodkaliumlösung Kartoffelstärke bringt. Die Flüssigkeit wi alsbald farblos, während die Stärke das Jod aufspeichert.

Zweiter Teil.

Physiologie des Wachstums und der Reizbewegungen.

Vierter Abschnitt.

Das Wachstum.

I. Einige Eigenschaften wachsender Pflanzenteile.

Wachsende Pflanzenteile sind oft im hohen Grade dehnbar und lastisch. Diese Eigenschaften müssen auch besonders Berücksichtigung rfahren, wenn man zu einem Verständnis der Erscheinungen der Gewebe- pannung gelangen will.

In lebhaft wachsenden Stengeln oder Blattstielen besitzt das Mark ıfolge starker Turgeszenz und raschen Wachstums seiner Zellen ein nergisches Ausdehnungsbestreben. Es übt daher besonders auf Rinde nd Epidermis eine dehnende Wirkung aus. Diese letzteren Gewebe sind ber ihrerseits infolge ihrer Elastizität bestrebt, das Mark zu komprimieren. .uf solche Art resultiert in den unversehrten Organen ein Spannungs- ıstand zwischen den Geweben (Längsspannung). Isoliert man das Mark, › zeigt es eine bedeutendere Länge als der intakte Pflanzenteil. Rinde nd Epidermis verkürzen sich aber beim Isolieren. Sie waren passiv der negativ, das Mark aktiv oder positiv gespannt.

Wenn das Mark mit fortschreitender Entwickelung der Internodien bstirbt, so erlischt die Längsspannung. An ihre Stelle tritt nun die uerspannung, welche in peripherischer und radialer Richtung wirksam ird. Hauptursachen der Querspannung sind das durch das Kambium ermittelte Dickenwachstum der Organe sowie reicher Wassergehalt er Gewebe. Die zentralen Gewebe der Stammgebilde sind aktiv, Rinde und Periderm aber passiv gespannt. Letztere erleiden starke Dehnung und ziehen sich daher, wenn sie isoliert werden, zusammen.

Vermehrte Wasseraufnahme seitens der Pflanzenteile bedingt eine Erhöhung der in ihnen herrschenden Spannungsgrößen. Auch eine tägliche Periodizität der Gewebespannung ist konstatiert. (Sachs, Lehrbuch d. Botanik, 4. Aufl.; Kraus, Botan. Zeitung, 1867.)

157. Dehnbarkeit und Elastizität wachsender Pflanzenteile.

Es dienen abgeschnittene, ganz frische Internodien von Aristolochia Sipho oder Sambucus nigra, die 50—100 mm Länge besitzen oder noch länger sind, zum Versuch. Im Winter experimentieren wir mit Blattstielen von Tropaeolum, die zu dieser Jahreszeit, auch wenn sie sich bei Lichtzutritt entwickeln, recht lang werden. Auf den 60—80 mm langen Blattstielen oder den Internodien bringt man in einer Entfernung von 50—100 mm 2 feine Marken mit chinesischer Tusche an. Man faßt die Untersuchungsobjekte an ihren Enden oberhalb und unterhalb der Marken mit den Händen und dehnt sie vorsichtig, aber möglichst stark, auf einer Millimeterteilung. Die Entfernung, welche die Marken jetzt besitzen, gibt unmittelbar ein Maß für die Dehnbarkeit der Pflanzenteile, welche z. B. bei Aristolochia 9 Proz. betragen kann. Man konstatiert auch leicht, daß jüngere Internodien eines Stengels viel dehnbarer als die älteren Internodien desselben sind. Ueberläßt man die Indernodien nach der Dehnung sich selbst, so ziehen sie sich mehr oder minder zusammen; ihr Gewebe ist also elastisch, aber da sie ihre ursprüngliche Länge meist nicht wieder völlig annehmen, sondern nach erfolgter stärkerer Dehnung dauernd länger bleiben, so ergibt sich, daß sie als unvollkommen elastisch bezeichnet werden müssen.

158. Biegsamkeit wachsender Pflanzenteile.

Völlig frische, gerade gewachsene, 50—100 mm lange Internodien von Vitis oder Aristolochia werden auf einem Karton, auf dem konzentrische Kreise aufgezeichnet worden sind (der größte Kreis möge z. B. 15 cm Radius haben, jeder folgende 2 mm geringeren Radius), mittelst der beiden Hände derartig gebogen, daß die Achse des Untersuchungsobjektes mit einem der Kreise zusammenfällt. Den bekannten Radius dieses Kreises notiert man als Krümmungsradius des gebogenen Internodiums. Ueberläßt man den Pflanzenteil sich selbst, so streckt er sich nicht wieder gerade, sondern bleibt ziemlich stark gekrümmt, und man kann seinen Krümmungsradius auch jetzt leicht feststellen. Wachsende Pflanzenteile sind demnach biegsam. Sie besitzen freilich Biegungselastizität; dieselbe ist aber eine unvollkommene.

159. Erschütterungskrümmungen.

Wenn man geraden, in lebhaftem Längenwachstum begriffenen Sprossen an ihrem unteren Teil, dessen Längenwachstum bereits vollendet ist, mit Hülfe eines Stockes einen Schlag oder einige Schläge beigebracht hat, so schreitet die der gestoßenen Region erteilte Krümmung in Form einer Welle bis in den frei schwebenden Gipfel fort. Dieser erscheint infolgedessen gekrümmt, und zwar liegt die Konkavität der Krümmung stets auf derjenigen Seite, von welcher der Schlag unten eintraf. Das Auftreten dieser Stoß- oder Erschütterungskrümmungen, welche man besonders gut bei Experimenten mit Sprossen von Lonicera tatarica beobachten kann, verdankt der Biegsamkeit, Plastizität und Elastizität der Pflanzenteile seine Entstehung (Sachs).

160. Längsspannung.

a) Orientierungsversuche. Wir experimentieren mit ganz geraden frisch abgeschnittenen im Wachstum begriffenen, 100 mm langen Stengelstücken oder Internodien von Sida Napaea, Sambucus, Heracleum oder Helianthus tuberosus. Im Winter benutzen wir etwa 100 mm lange

Rolle beim Dickenwachstum der Zellhäute (und auch z. B. beim Wachstum der Stärkekörner).

Das normale Dickenwachstum der Stammgebilde und Wurzeln wird durch die Tätigkeit des Kambiums vermittelt, welches in den Stengeln und Stämmen der höheren Pflanzen auf dem Querschnitt in Gestalt eines geschlossenen Ringes auftritt. Dieser Ring entsteht, indem sich an das Fascikularkambium der offenen Stränge das Interfascikularkambium anschließt. Durch die Tätigkeit des Kambiums werden dann sekundäres Holz und sekundärer Bast produziert. (Sachs, Lehrbuch der Botanik, 1874, S. 741; Strasburger, Das botanische Praktikum; Sachs, Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg, Bd. 2; Errera, Bericht der deutschen botanischen Gesellschaft, 1886, S. 441; Berthold, Studien über Protoplasmamechanik, 1886, S. 219.)

167. Vegetationspunkte.

Wir schneiden von recht kräftig entwickelten Sprossen von Hippuris vulgaris die Endknospe in einer Länge von etwa 1 cm ab, entfernen die vorhandenen Blätter so viel wie möglich und stellen, was ziemlich schwierig ist, zarte Längsschnitte aus der zwischen den Fingern oder zwischen Holundermark gehaltenen Knospe her. In Fig. 103 erblicken wir das Bild eines medianen Längsschnittes. Es ist erforderlich, die Schnitte, um die Anordnung der Zellen des Vegetationskegels klar und deutlich erkennen zu können, aufzuhellen, was z. B. dadurch erreicht wird, daß wir die Präparate mit konzentrierter Kalilauge behandeln, dann mit Wasser auswaschen und in konzentrierte Essigsäure legen. Die Scheidewände der mantelförmig übereinander gelagerten Zellschichten bilden eine Schar konfokaler Parabeln. Die äußerste Zellschicht, aus der die Epidermis hervorgeht, bezeichnet man als Dermatogen (*d*). Es folgt dann das die Stengelrinde erzeugende, mehrschichtige Periblem (*pr*). Endlich folgt das Plerom (*pl*), aus welchem, wie tiefer am Schnitt konstatiert werden kann, der axile Gefäßbündelcylinder des Stengels hervorgeht. Bei Hippuris, keineswegs aber bei allen höheren Pflanzen, ist also eine scharfe Trennung des Dermatogens, Periblems und Pleroms am Vegetationskegel vorhanden (vergl. Strasburgers Praktikum).

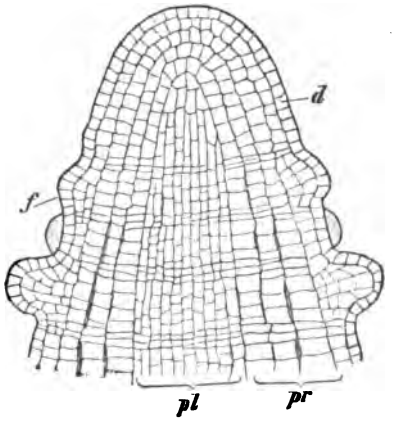


Fig. 103. Längsschnitt durch den Vegetationskegel von Hippuris vulgaris. *d* Dermatogen, *pr* Periblem, *pl* Plerom, *f* Blattanlage. Vergr. 240. (Nach Strasburger.)

Wollen wir Wurzelvegetationspunkte untersuchen, so stellen wir mediane Längsschnitte aus den Wurzeln von Zea Mays oder Hordeum her. Es ist auch hier ein Dermatogen, Periblem und Plerom vorhanden; besonders auffallen wird uns die Wurzelhaube, welche den Scheitel der Wurzeln bedeckt.

168. Versuche zur Veranschaulichung des Prinzips der kleinsten Oberflächen.

Wir lösen 3,75 g gepulverte medizinische Seife (aus der Apotheke zu beziehen) in einem Gemisch von 187,5 g destilliertem Wasser und

stimmt man die Weite des Abstandes der Schnittflächen des nach dem Isolieren in seine natürliche Lage zurückgebrachten Rindenringes durch Messung und subtrahiert den erhaltenen Wert von dem für den Umfang der unversehrten Querscheibe gefundenen, so erhält man eine Zahl, durch welche die Größe des nach dem Isolieren verkürzten Rindenringes zum Ausdruck gelangt. Die Spannungsintensität kann schließlich leicht in Prozenten des ursprünglichen Umfanges des Untersuchungsobjektes angegeben werden. Umfang einer Prunusquerscheibe z. B. 106 mm; Abstand der Schnittflächen des isolierten Rindenringes 4,5 mm; Spannungsintensität 4,2 Proz.

Wenn man Anfang Juli von Querscheiben aus den älteren Teilen eines Stengels von Helianthus tuberosus mit Hülfe eines scharfen Messers Rindenringe abzieht, so läßt sich auch an diesen Stengeln das Vorhandensein der Querspannung leicht konstatieren. Dasselbe Resultat erhält man bei der Untersuchung der älteren Teile diesjähriger Sambucusstengel. Querscheiben aus jungen Sambucusinternodien (z. B. dem 2. Internodium) können frei von Querspannung sein; in diesem Falle schließen die Ränder isolierter Rindenringe, in normale Lage zurückgebracht, dicht zusammen.

162. Erhöhung der Spannungsintensität durch Wasserzufuhr.

Die Längsspannung muß in den Pflanzenteilen um so bedeutender ausfallen, je stärker die Zellen des Markes turgeszieren (und auch infolge dessen wachsen). Die Fähigkeit des Markes, besonders energisch Wasser aufzunehmen, läßt sich leicht unter Benutzung der Blütenschäfte von Taraxacum officinale demonstrieren. Die mikroskopische Untersuchung eines Querschnittes läßt die Epidermis, das Kollenchym, grünes Gewebe, Markparenchym, sowie Fibrovasalstränge erkennen. Spaltet man einen jungen Blütenschaft der Länge nach und legt die erhaltenen Stücke in Wasser, so rollen sie sich unter den Augen des Beobachters rasch schneckenförmig ein, und zwar wird dabei die Markseite konvex (vergl. Fig. 102). Das Markgewebe nimmt schnell reichliche Wassermengen auf, seine Zellen strecken sich infolgedessen, und dadurch kommt die spiralige Einrollung des Untersuchungsobjektes zu stande. Wenn man im Herbst Taraxacumpflanzen ausgräbt, in Blumentöpfe setzt und zunächst im Kalthaus, später im Warmhaus kultiviert, so kann man sich bis Ende Februar Blütenschäfte der Pflanze für das erwähnte Experiment verschaffen.

Fig. 102. Der Länge nach halbierter Blütenschaft von Taraxacum officinale, welcher, in Wasser gelegt, infolge von Wasseraufnahme spiralige Einrollungen erfahren hat.

Wir stellen uns Querscheiben aus einem Ast von Prunus her, die etwa 15 mm hoch sind und 100 mm Umfang besitzen. Einige Querscheiben untersuchen wir sofort auf ihre Spannungsgröße (vergl. unter 161), andere erst, nachdem sie 24 Stunden in Wasser gelegen haben. Spannungsgröße frischen Materials z. B. 4,5 Proz., nach 24-stündigem Verweilen in Wasser 5,5 Proz.

Rolle beim Dickenwachstum der Zellhäute (und auch z. B. beim Wachstum der Stärkekörner).

Das normale Dickenwachstum der Stammgebilde und Wurzeln wird durch die Tätigkeit des Kambiums vermittelt, welches in den Stengeln und Stämmen der höheren Pflanzen auf dem Querschnitt in Gestalt eines geschlossenen Ringes auftritt. Dieser Ring entsteht, indem sich an das Fascikularkambium der offenen Stränge das Interfascikularkambium anschließt. Durch die Tätigkeit des Kambiums werden dann sekundäres Holz und sekundärer Bast produziert. (Sachs, Lehrbuch der Botanik, 1874, S. 741; Strasburger, Das botanische Praktikum; Sachs, Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg, Bd. 2; Errera, Bericht der deutschen botanischen Gesellschaft, 1886, S. 441; Berthold, Studien über Protoplasmamechanik, 1886, S. 219.)

167. Vegetationspunkte.

Wir schneiden von recht kräftig entwickelten Sprossen von Hippuris vulgaris die Endknospe in einer Länge von etwa 1 cm ab, entfernen die vorhandenen Blätter so viel wie möglich und stellen, was ziemlich schwierig ist, zarte Längsschnitte aus der zwischen den Fingern oder zwischen Holundermark gehaltenen Knospe her. In Fig. 103 erblicken wir das Bild eines medianen Längsschnittes. Es ist erforderlich, die Schnitte, um die Anordnung der Zellen des Vegetationskegels klar und deutlich erkennen zu können, aufzuhellen, was z. B. dadurch erreicht wird, daß wir die Präparate mit konzentrierter Kalilauge behandeln, dann mit Wasser auswaschen und in konzentrierte Essigsäure legen. Die Scheidewände der mantelförmig übereinander gelagerten Zellschichten bilden eine Schar konfokaler Parabeln. Die äußerste Zellschicht, aus der die Epidermis hervorgeht, bezeichnet man als Dermatogen (*d*). Es folgt dann das die Stengelrinde erzeugende, mehrschichtige Periblem (*pr*). Endlich folgt das Plerom (*pl*), aus welchem, wie tiefer am Schnitt konstatiert werden kann, der axile Gefäßbündelcylinder des Stengels hervorgeht. Bei Hippuris, keineswegs aber bei allen höheren Pflanzen, ist also eine scharfe Trennung des Dermatogens, Periblems und Pleroms am Vegetationskegel vorhanden (vergl. Strasburgers Praktikum).

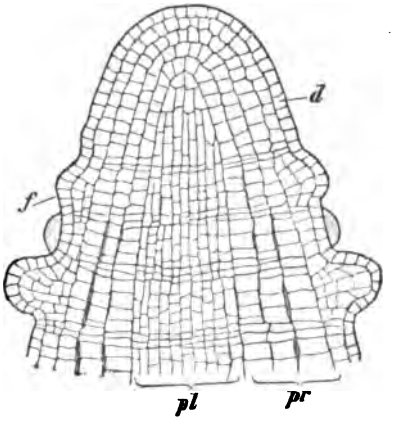


Fig. 103. Längsschnitt durch den Vegetationskegel von Hippuris vulgaris. *d* Dermatogen, *pr* Periblem, *pl* Plerom, *f* Blattanlage. Vergr. 240. (Nach Strasburger.)

Wollen wir Wurzelvegetationspunkte untersuchen, so stellen wir mediane Längsschnitte aus den Wurzeln von Zea Mays oder Hordeum her. Es ist auch hier ein Dermatogen, Periblem und Plerom vorhanden; besonders auffallen wird uns die Wurzelhaube, welche den Scheitel der Wurzeln bedeckt.

168. Versuche zur Veranschaulichung des Prinzips der kleinsten Oberflächen.

Wir lösen 3,75 g gepulverte medizinische Seife (aus der Apotheke zu beziehen) in einem Gemisch von 187,5 g destilliertem Wasser und

dehnung kennen zu lernen. Ein Versuch lieferte z. B. folgendes Resultat:

Zonen	Zonenlänge nach 22-stünd. Wachstum	Partialzuwachs in mm	Verkürzung in der Lösung bis	Verkürzung, auf eine Anfangslänge von 5 mm berechnet
I. (oben)	8,0	3,0	8,0	0,00
II.	10,5	5,5	9,5	0,48
III.	12,5	7,5	11,0	0,60
IV.	10,5	5,5	9,5	0,48
V.	7,0	2,0	7,0	0,00
VI.	6,0	1,0	6,0	0,00
VII.	5,5	0,5	5,5	0,00
VIII.	5,0	0,0	5,0	0,00

In anderen Versuchen traten die Relationen zwischen Wachstum und Turgorausdehnung nicht so klar hervor.

164. Beeinflussung des Dickenwachstums durch Druckkräfte.

An einem 3-jährigen Ast von Salix cinerea bringt man Anfang April in einer Strecke von einigen Centimetern eine Ligatur von dünnem Bindfaden an. Der Faden wird in einer Schraubenlinie um den Pflanzenteil gewunden, so daß sich die einzelnen Umgänge möglichst dicht berühren. Löst man die im Frühjahr fest angezogene Ligatur Anfang August, dann zeigt sich, daß der Ast an der Druckstelle weit weniger in die Dicke gewachsen ist als oberhalb und unterhalb derselben.

165. Kontraktion der Wurzeln.

Wir säen Samen von Carum carvi im Freien aus. Die ca. 3 Monate alten Pflanzen ziehen wir aus der Erde, waschen sie, trocknen sie ab und entfernen ihr dünnes unteres Ende sowie die Nebenwurzeln. Nun bringen wir in einer Entfernung von 70—100 mm Tuschestriche als Marken auf den Wurzeln an (Methode unter 172), legen die Wurzeln in Wasser und finden durch Messung der Entfernung der Marken, daß die Organe sich im Laufe von 4, 12, 24 Stunden mehr und mehr (z. B. bis 2,5—4 Proz.) verkürzen. Dies tritt aus den früher angegebenen Gründen unter gleichzeitiger Dickenzunahme der Wurzeln ein.

Die abgetrockneten Wurzeln werden nun, um sie in den plasmolytischen Zustand zu versetzen, in 15-proz. Kochsalzlösung gelegt. Schon nach einigen Stunden ist infolge Verlängerung der erschlaffenden Organe ein Auseinanderrücken der Marken zu konstatieren.

166. Wirkung der Plasmolyse.

Erbsenkeimlinge (Wurzellänge 20 mm) werden derartig mit Nadeln an einem ein Becherglas verschließenden Kork befestigt, daß sie in senkrechter Stellung in 10-proz. Kalisalpeterlösung eintauchen. Nach $1^1/_2$ Stunde haben sich die Wurzeln erheblich verkürzt. Man mißt vor und nach der Plasmolyse die Länge der Wurzeln von ihrer Spitze bis zu einer am oberen Wurzelteil angebrachten Marke. An Stelle der Salzlösung bringt man jetzt Wasser in das Glas. In 2 Stunden haben sich die Wurzeln wieder verlängert. Die Keimlinge werden nun in der Art, wie unter 208 angegeben, auf einem Kork unter einer Glasglocke befestigt. Wachstum der Wurzeln tritt im Laufe von 18 Stunden nicht ein. Wurzeln, die plasmolytisch gemacht und dann wieder in den turgeszierenden Zustand versetzt worden sind, wachsen (mindestens zunächst) nicht mehr. Völlig intakt gelassene Kontrollpflanzen wachsen energisch.

Rolle beim Dickenwachstum der Zellhäute (und auch z. B. beim Wachstum der Stärkekörner).

Das normale Dickenwachstum der Stammgebilde und Wurzeln wird durch die Tätigkeit des Kambiums vermittelt, welches in den Stengeln und Stämmen der höheren Pflanzen auf dem Querschnitt in Gestalt eines geschlossenen Ringes auftritt. Dieser Ring entsteht, indem sich an das Fascikularkambium der offenen Stränge das Interfascikularkambium anschließt. Durch die Tätigkeit des Kambiums werden dann sekundäres Holz und sekundärer Bast produziert. (Sachs, Lehrbuch der Botanik, 1874, S. 741; Strasburger, Das botanische Praktikum; Sachs, Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg, Bd. 2; Errera, Bericht der deutschen botanischen Gesellschaft, 1886, S. 441; Berthold, Studien über Protoplasmamechanik, 1886, S. 219.)

167. Vegetationspunkte.

Wir schneiden von recht kräftig entwickelten Sprossen von Hippuris vulgaris die Endknospe in einer Länge von etwa 1 cm ab, entfernen die vorhandenen Blätter so viel wie möglich und stellen, was ziemlich schwierig ist, zarte Längsschnitte aus der zwischen den Fingern oder zwischen Holundermark gehaltenen Knospe her. In Fig. 103 erblicken wir das Bild eines medianen Längsschnittes. Es ist erforderlich, die Schnitte, um die Anordnung der Zellen des Vegetationskegels klar und deutlich erkennen zu können, aufzuhellen, was z. B. dadurch erreicht wird, daß wir die Präparate mit konzentrierter Kalilauge behandeln, dann mit Wasser auswaschen und in konzentrierte Essigsäure legen. Die Scheidewände der mantelförmig übereinander gelagerten Zellschichten bilden eine Schar konfokaler Parabeln. Die äußerste Zellschicht, aus der die Epidermis hervorgeht, bezeichnet man als Dermatogen (*d*). Es folgt dann das die Stengelrinde erzeugende, mehrschichtige Periblem (*pr*). Endlich folgt das Plerom (*pl*), aus welchem, wie tiefer am Schnitt konstatiert werden kann, der axile Gefäßbündelcylinder des Stengels hervorgeht. Bei Hippuris, keineswegs aber bei allen höheren Pflanzen, ist also eine scharfe Trennung des Dermatogens, Periblems und Pleroms am Vegetationskegel vorhanden (vergl. Strasburgers Praktikum).

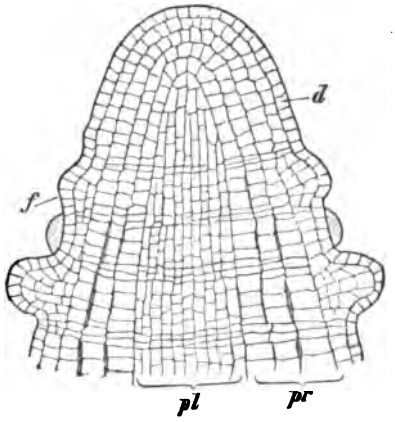


Fig. 103. Längsschnitt durch den Vegetationskegel von Hippuris vulgaris. *d* Dermatogen, *pr* Periblem, *pl* Plerom, *f* Blattanlage. Vergr. 240. (Nach Strasburger.)

Wollen wir Wurzelvegetationspunkte untersuchen, so stellen wir mediane Längsschnitte aus den Wurzeln von Zea Mays oder Hordeum her. Es ist auch hier ein Dermatogen, Periblem und Plerom vorhanden; besonders auffallen wird uns die Wurzelhaube, welche den Scheitel der Wurzeln bedeckt.

168. Versuche zur Veranschaulichung des Prinzips der kleinsten Oberflächen.

Wir lösen 3,75 g gepulverte medizinische Seife (aus der Apotheke zu beziehen) in einem Gemisch von 187,5 g destilliertem Wasser und

treffen (vergl. Berthold, S. 231 und 253 seiner Abhandlung), sind nur unter Berücksichtigung des zuletzt erwähnten Prinzipes verständlich, wie die genannten Autoren auch näher ausführen. Dieselben kommen zu dem Resultat, daß die Gruppierung der Membranen von den nämlichen Gesetzen beherrscht wird, welche ebenfalls für die Ausbildung von Flüssigkeitslamellen maßgebend sind. Für diese ist das Prinzip der kleinsten Oberfläche, wie zumal Plateau nachwies, entscheidend.

Aus den an der Spitze der Stengel und Wurzeln vorhandenen Vegetationspunkten gehen Vegetationszonen hervor, deren Zellen in lebhafter Streckung (zum Teil auch noch in Teilung) begriffen sind. Diese Vegetationszonen kann man als terminale bezeichnen, wenn sie an der Spitze der Organe liegen, oder als basale, wenn sie an der Basis der Organe vorhanden sind (lange Blätter von Monokotyledonen, Blütenschäfte von Mono- und Dikotyledonen). Das über den basalen Vegetationszonen gelegene Gewebe ist schon als Dauergewebe vorhanden. Den basalen Vegetationszonen nahe verwandt sind die typisch interkalaren Vegetationszonen, wie solche z. B. bei den Halmen der Gräser angetroffen werden. Das jugendliche Gewebe liegt hier an der Basis der einzelnen Internodien und wird durch die Blattscheide geschützt. Die Vegetationszonen sind also zwischen fertigem Gewebe des Organs eingeschaltet.

Was die Entstehung der Seitenorgane (neue Sprosse, Blätter, Wurzeln) bei den Pflanzen anlangt, so kann diese eine normale oder adventive sein. Normal gebildete Pflanzenteile sind solche, die aus anderen jugendlichen Teilen des Organismus an von vornherein bestimmten Orten entstehen (z. B. aus Vegetationspunkten hervorgehende Sprosse und Blätter). Adventivbildungen nehmen ihren Ursprung dagegen an beliebigen Stellen des Pflanzenkörpers, indem sich vorhandenes Dauergewebe in Meristem verwandelt. Hierher gehören z. B. Sprosse, die aus älteren Stamm- oder Wurzelteilen hervorbrechen. Verwundungen, welche diese Organe erleiden, sind nicht selten die Bedingung massenhafter Adventivbildungen. Die meisten normalen Pflanzenteile (Sprosse, Blätter) sind exogenen, die adventiven aber meist endogenen Ursprungs. Zu beachten ist noch, daß auch die aus den Hauptwurzeln hervorgehenden Seitenwurzeln einen endogenen Ursprung nehmen. Sie werden bei den Phanerogamen im Perikambium der Hauptwurzel angelegt, müssen bei weiterer Entwickelung die Rinde durchbrechen und treten in geraden Reihen, aber immer erst ziemlich entfernt vom Vegetationspunkt der Hauptwurzel, auf. Die Bildung der Seitenwurzeln erfolgt, ebenso wie diejenige von Sprossen und Blättern am Stammvegetationspunkt, in akropetaler Ordnung; die jüngeren Organe stehen der Spitze des erzeugenden Gliedes somit näher als die älteren.

In den Vegetationspunkten erfahren die Zellen in erster Linie eine Vermehrung durch Teilung. An die Vegetationspunkte schließt sich eine Region an, in der die Zellen hauptsächlich durch starkes Flächenwachstum ihrer Membran eine Streckung der Organe veranlassen, während die Elemente des Pflanzenkörpers in noch größerer Entfernung von den Vegetationspunkten ihre oft mit bedeutendem Dickenwachstum der Membranen verbundene definitive Ausgestaltung gewinnen. Das Flächenwachstum der Zellhäute, welches übrigens durchaus unter der Herrschaft des lebenstätigen Protoplasmas steht, erfolgt besonders durch Intussuszeptionsvorgänge. Apposition verbunden mit Dehnung bereits vorhandener Membranlamellen, macht sich beim Flächenwachstum freilich auch in konkreten Fällen geltend; die Appositionsvorgänge spielen aber die wichtigste

Rolle beim Dickenwachstum der Zellhäute (und auch z. B. beim Wachstum der Stärkekörner).

Das normale Dickenwachstum der Stammgebilde und Wurzeln wird durch die Tätigkeit des Kambiums vermittelt, welches in den Stengeln und Stämmen der höheren Pflanzen auf dem Querschnitt in Gestalt eines geschlossenen Ringes auftritt. Dieser Ring entsteht, indem sich an das Fascikularkambium der offenen Stränge das Interfascikularkambium anschließt. Durch die Tätigkeit des Kambiums werden dann sekundäres Holz und sekundärer Bast produziert. (Sachs, Lehrbuch der Botanik, 1874, S. 741; Strasburger, Das botanische Praktikum; Sachs, Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg, Bd. 2; Errera, Bericht der deutschen botanischen Gesellschaft, 1886, S. 441; Berthold, Studien über Protoplasmamechanik, 1886, S. 219.)

167. Vegetationspunkte.

Wir schneiden von recht kräftig entwickelten Sprossen von Hippuris vulgaris die Endknospe in einer Länge von etwa 1 cm ab, entfernen die vorhandenen Blätter so viel wie möglich und stellen, was ziemlich schwierig ist, zarte Längsschnitte aus der zwischen den Fingern oder zwischen Holundermark gehaltenen Knospe her. In Fig. 103 erblicken wir das Bild eines medianen Längsschnittes. Es ist erforderlich, die Schnitte, um die Anordnung der Zellen des Vegetationskegels klar und deutlich erkennen zu können, aufzuhellen, was z. B. dadurch erreicht wird, daß wir die Präparate mit konzentrierter Kalilauge behandeln, dann mit Wasser auswaschen und in konzentrierte Essigsäure legen. Die Scheidewände der mantelförmig übereinander gelagerten Zellschichten bilden eine Schar konfokaler Parabeln. Die äußerste Zellschicht, aus der die Epidermis hervorgeht, bezeichnet man als Dermatogen (*d*). Es folgt dann das die Stengelrinde erzeugende, mehrschichtige Periblem (*pr*). Endlich folgt das Plerom (*pl*), aus welchem, wie tiefer am Schnitt konstatiert werden kann, der axile Gefäßbündelcylinder des Stengels hervorgeht. Bei Hippuris, keineswegs aber bei allen höheren Pflanzen, ist also eine scharfe Trennung des Dermatogens, Periblems und Pleroms am Vegetationskegel vorhanden (vergl. Strasburgers Praktikum).

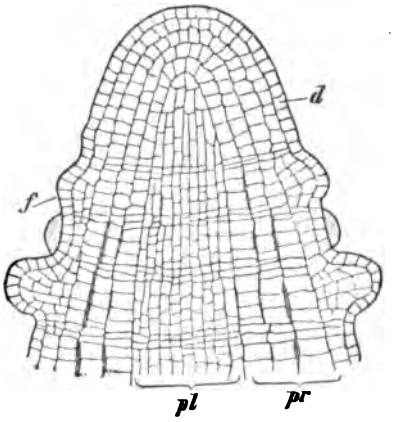


Fig. 103. Längsschnitt durch den Vegetationskegel von Hippuris vulgaris. *d* Dermatogen, *pr* Periblem, *pl* Plerom, *f* Blattanlage. Vergr. 240. (Nach Strasburger.)

Wollen wir Wurzelvegetationspunkte untersuchen, so stellen wir mediane Längsschnitte aus den Wurzeln von Zea Mays oder Hordeum her. Es ist auch hier ein Dermatogen, Periblem und Plerom vorhanden; besonders auffallen wird uns die Wurzelhaube, welche den Scheitel der Wurzeln bedeckt.

168. Versuche zur Veranschaulichung des Prinzips der kleinsten Oberflächen.

Wir lösen 3,75 g gepulverte medizinische Seife (aus der Apotheke zu beziehen) in einem Gemisch von 187,5 g destilliertem Wasser und

75 g konzentriertem Glycerin auf. Die Lösung kocht man einmal auf und kann sie dann lange aufbewahren. Nun verfertigt man sich Modelle verschiedener Körper (Würfel, Tetraëder, Cylinder) aus Draht. Der Draht wird derartig zusammengebogen, daß er die Kanten der erwähnten Körperformen bildet. Beim Cylinder wird die obere Kreisfläche mit der unteren durch drei Drähte verbunden. Modelle von etwa 50 mm Höhe genügen vollkommen. Die Seifenlösung wird in ein Becherglas gebracht, und nun taucht man die Modelle an einem an geeigneter Stelle befestigten Draht in dieselbe ein. Hebt man die Modelle aus der Lösung heraus, so sieht man zwischen den Drahtkanten Seifenlamellen ausgespannt. Dieselben sind nun eben, wie die spezielle Prüfung und mathematische Rechnung ergibt, nach dem Prinzip der kleinsten Oberflächen angeordnet. Zerstört man eine der ausgepannten Lamellen durch vorsichtiges Berühren mit einem Glasstab, dann wird in dem Lamellensystem ein neuer Gleichgewichtszustand angestrebt und durch Bildung oft sehr merkwürdiger Lamellenformen erzielt, die aber immer dem erwähnten Prinzip Genüge leisten.

Sehr lehrreich ist das folgende Experiment. Ein auf 4 Drahtstiften von ca. 1 cm Höhe ruhendes Drahtquadrat von ca. 60 mm Seitenlänge wird mittelst eines an geeigneter Stelle befestigten Drahtes in die Seifenlösung eingetaucht. Das aus der Lösung herausgenommene Drahtmodell wird in horizontale Lage gebracht und auf die ausgespannte Lamelle ein Faden in beliebiger Weise aufgelegt, dessen Enden man miteinander verknüpft hat. Durchsticht man die Seifenlamelle nun mit Hülfe eines Glasstabes an einer Stelle, die innerhalb der von dem Faden umgrenzten Zone liegt, so bildet die Lamelle sofort eine Minimalfläche, und der Faden ordnet sich daher in Kreisform an.

169. Kambium und Dickenwachstum.

Wir nehmen zunächst eine 3—4 mm dicke Sproßachse von Aristolochia Sipho in Untersuchung und können frisches Material oder Alkoholmaterial verwenden. In Fig. 104 ist das Bild eines zarten Querschnittes bei schwacher Vergrößerung dargestellt. Man orientiert sich leicht, und es sei hier besonders darauf aufmerksam gemacht, daß die in einem

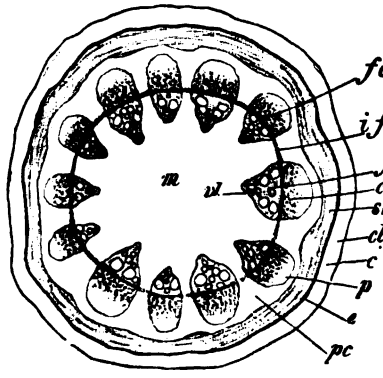


Fig. 104. Querschnitt durch einen 5 mm dicken Zweig von Aristolochia Sipho. *m* Mark, *fv* Gefäßbündel, und zwar *vl* Gefäßteil, *cb* Siebteil, *fc* Fascikularkambium, *ifc* Interfascikularkambium, *p* Cribralparenchym an der Außenseite des Siebteiles, das den Uebergang zum Grundgewebe vermittelt, *pc* Pericykel, *sk* Sklerenchymring, *e* Stärkescheide, *c* grüne Rinde, *cl* Kollenchym. Vergr. 9. (Nach STRASBURGER.)

Kreise angeordneten Gefäßbündel noch ziemlich weit voneinander getrennt sind. Das aus schmalen, radial angeordneten Zellen bestehende Fascikularkambium (*fc*) der einzelnen Stränge setzt sich zwischen diesen in das aus dem Parenchym des Grundgewebes hervorgegangene Interfascikularkambium (*ifc*) fort, und dadurch entsteht ein geschlossener Kambiumring.

Bei weiterer Entwickelung der Sproßachse von Aristolochia erzeugt nun das Kambium (hier nur das Fascikularkambium) nach innen fortdauernd Holz-, nach außen Bastgewebe. Das auf diese Weise zu stande kommende Dickenwachstum der Stammteile führt zumal zu einer sehr bedeutenden Massenzunahme des Holzkörpers der Fibrovasalstränge, wie man sofort erkennt, wenn man z. B. Querschnitte aus 10 mm dicken Aristolochiastengeln untersucht. Wir erblicken dabei auch etwa 10 primäre Markstrahlen, die den Holzkörper seiner gesamten Dicke nach durchsetzen, also vom Kambium bis zum Mark reichen. Sekundäre Markstrahlen sind in beträchtlicher Anzahl vorhanden. Zu achten ist noch darauf, daß in der Peripherie der älter gewordenen Sproßachsen Peridermbildung eingetreten, und daß der in den jüngeren Pflanzenteilen geschlossene Sklerenchymring (vergl. Fig. 104 *sk*) in einzelne Stücke zerlegt ist. (Näheres in Strasburgers Praktikum.)

Ein günstiges Objekt zur Orientierung über das Kambium stellt auch das hypokotyle Glied von Ricinus communis dar. In Fig. 97 ist das Bild des Querschnittes eines Gefäßbündels aus dem völlig gestreckten Hypokotyl von Ricinus dargestellt. Wir untersuchen Alkoholmaterial und stellen ohne Mühe das Vorhandensein des Interfascikularkambiums und des Fascikularkambiums fest. Infolge des Dickenwachstums des Ricinusstengels wird nach innen sekundäres Holz, nach außen sekundäres Bastgewebe erzeugt.

170. Nebenwurzeln.

Einige Samen von Vicia Faba werden in bekannter Weise in Sägespänen zur Keimung gebracht. Haben die Keimwurzeln eine Länge von wenigen Centimetern erreicht, so befestigen wir die Keimlinge mittelst längerer Nadeln in der Art, wie unter 172 angegeben, an der Korkplatte des Deckels eines größeren Glasgefäßes. Das Ende der Wurzeln muß in das Brunnenwasser eintauchen, mit welchem das Glasgefäß angefüllt ist. Die kräftig weiter wachsenden Hauptwurzeln erzeugen alsbald Seitenwurzeln, welche in mehreren Längsreihen und in akropetaler Ordnung auftreten, so daß also die jüngsten (kürzesten) Seitenwurzeln der Spitze der Hauptwurzeln am nächsten liegen. Nach etwa 8—10 Tagen stellen wir aus der Mitte der Region der Hauptwurzel, welche Seitenwurzeln entwickelt hat, zarte Querschnitte her. Die mikroskopische Untersuchung lehrt, daß die Mitte des von dem Rindengewebe umgebenen Zentralcylinders der Wurzel von Markgewebe eingenommen wird. 4 oder 5 isolierte Xylembündel strahlen nach außen radial aus, und zwischen ihnen beobachtet man ebensoviele der Peripherie des Zentralcylinders etwas näher liegende Phloëmbündel. Hat man bei der Herstellung der Querschnitte die Ansatzstelle von Seitenwurzeln getroffen, so sieht man, wie diese ihren Ursprung vor den Xylembündeln im Zentralcylinder nehmen, also endogen entstehen.

171. Terminale, basale und interkalare Vegetationszonen.

a) Terminale Vegetationszonen. Samen von Phaseolus multiflorus werden in Gartenerde, mit der Blumentöpfe angefüllt sind, eingelegt. Haben die epikotylen Glieder der sich im Dunkeln entwickelnden Untersuchungsobjekte ungefähr eine Länge von 60 mm erreicht, so bringen wir auf denselben nach der unter 172 angegebenen Methode feine Tuschestriche in Entfernung von je 10 mm als Marken an. Die Pflanzen bleiben dann im Dunkeln bei etwa 20° C stehen, und wenn wir nach 24 Stunden die Entfernung der Marken abermals be-

stimmen, so finden wir, daß diese nur im oberen Teil des Stengelgliedes, nicht aber im unteren, größer geworden ist. Die Phaseolusepikotyle besitzen eine ausgeprägt terminale Vegetationszone.

b) Ausdehnung der Wachstumsregion. Um festzustellen, daß sich die Wachstumsregion der Stengel in manchen Fällen über mehrere Stengelglieder erstreckt, dienen (auch im Winter) Phaseoluspflanzen als Untersuchungsmaterial. Dieselben werden so weit kultiviert, daß sich das zweite, d. h. das über den Primordialblättern liegende Stengelglied eben zu strecken beginnt. Auf diesem Stengelglied und ebenso auf dem oberen Ende des epikotylen Gliedes werden in Entfernungen von 10—15 mm Tuschestriche als Marken aufgetragen. Nach Verlauf von 24 Stunden findet man, daß in beiden Zonen Wachstum stattgefunden hat. Die unteren Teile des Epikotyls sind natürlich bereits längst ausgewachsen.

Im Frühjahr (Mai) messen wir die Länge der vier jüngsten Internodien eines im Freien wachsenden Hopfensprosses. Nach 48 Stunden werden die Messungen wiederholt.

Internodien	Anfangslänge in mm	Länge nach 24 Std. in mm
I (oben)	24,5	36,0
II	60,0	82,0
III	88,5	95,0
IV	66,0	66,0

c) Wurzeln. Die Versuche unter a lehren, daß die Wachstumsregion des Phaseolusepikotyls (und ähnlich verhalten sich andere Stengelteile) eine recht ausgedehnte ist; sie kann z. B. über 30 mm betragen. Dagegen besitzen die meisten Wurzeln eine Vegetationszone von nur wenigen (z. B. 4—8) mm. Angekeimte Samen von Pisum, Phaseolus oder Vicia Faba werden in der unter 172 angegebenen Art mit Nadeln an der Korkplatte des Deckels eines Glasgefäßes befestigt, so daß die Wurzeln in die feuchte Luft hineinragen. Auf diese Wurzeln hat man vorher feine Tuschestriche in Entfernung von je 5 mm als Marken aufgetragen. Die nach 24 Stunden vorgenommenen Messungen ergeben, daß nur in jener der Wurzelspitze am nächsten liegenden Zone oder in dieser und der folgenden Wachstum eingetreten ist.

Fig. 105. Unterer Teil eines Internodiums aus dem Halme von Secale. Das Stück *a* ist durch interkalares Wachstum hervorgeschoben worden.

d) Internodien der Gräser. Bei den Gräsern — aber auch bei manchen anderen Gewächsen — bewahrt das an der Basis der einzelnen Internodien von der Blattscheide umschlossene Gewebe der Achse längere Zeit einen jugendlichen Charakter, während die höher liegenden Teile der Internodien schon in Dauergewebe übergegangen sind. Diese merkwürdige Tatsache des Vorhandenseins einer basalen, interkalaren Vegetationszone läßt sich sehr leicht durch das folgende Experiment demonstrieren. Wir schneiden aus einem Halm von Secale ein Internodium heraus. Dasselbe wird in eine obere und eine untere Hälfte zerlegt. Wir stellen nun die beiden Stücke des Internodiums, die mit ihrer Basis in Wasser eintauchen, unter eine Glasglocke und finden nach Verlauf von 24 Stunden, daß sich an der oberen Hälfte des Internodiums keine Wachstumsvor-

gänge geltend gemacht haben, wohl aber an der unteren. In Fig. 105 ist die untere Hälfte eines Internodiums von Secale, nachdem dieselbe 24 Stunden in feuchter Luft verweilt hatte, dargestellt. *K* ist das Knotengelenk. Der Teil *a* ist durch Wachstumsprozesse aus den äußeren Teilen hervorgeschoben worden.

e) Wachstum der Grasblätter. Weizenkeimlinge, die bei Lichtabschluß unter einem Pappkasten in einem Blumentopf erwachsen sind, dienen zur Beobachtung. Die Keimlinge haben ca. 100 mm Höhe; ihr erstes Laubblatt, welches auf das Scheidenblatt folgt, ist bereits recht lang. Wir bringen nahe der Spitze des Laubblattes zwei Tuschestriche als Marken in einer Entfernung von etwa 3 mm an. Ebenso wird bei der nämlichen Pflanze das Scheidenblatt nahe seiner Spitze und ca. 15 mm höher auch das Laubblatt mit Marke versehen. Nach 24 Stunden findet man diese Marken infolge des basalen Wachstums des Laubblattes bedeutend auseinandergerückt, während die Marken an der Spitze des Laubblattes die gleiche Entfernung wie zu Beginn des Versuchs zeigen.

IV. Die inneren Wachstumsbedingungen.

Das Walten innerer Wachstumsbedingungen prägt sich schon darin aus, daß gleichnamige Glieder verschiedener Pflanzen unter den nämlichen äußeren Bedingungen ganz verschiedene Formen und Dimensionen gewinnen. Wenn ferner eine Pflanze sehr schnell, eine andere langsam wächst (der Stengel von Bambusa kann sich im Laufe von 24 Stunden um 0,5—0,9 m verlängern, während z. B. manche Flechten ungemein langsam wachsen), beim Wachsen trotz konstant bleibender äußerer Umstände vielfach autonome Oszillationen der Zuwachsbewegung beobachtet werden, oder wenn die Wachstumsenergie der einzelnen Internodien eines Stengels (d. h. die schließlich erzielte Länge der aufeinander folgenden Stengelglieder) nicht die nämliche ist, so sind damit ebenfalls Erscheinungen gekennzeichnet, die ihren Grund in der Wirksamkeit innerer Wachstumsbedingungen haben. Solche sind auch beim Zustandekommen mancher Torsionen tätig, wo das Längenwachstum gewisser Gewebekomplexe der Organe nicht genau parallel zur Wachstumsachse erfolgt, sondern eine etwas seitliche Richtung annimmt.

Wenn das Längenwachstum einer Seite eines Pflanzenteils im Vergleich zu demjenigen anderer Seiten desselben Organs aus inneren Ursachen eine Förderung erfährt, so resultieren autonome Nutationen. Die derart entstandenen Krümmungen können bestehen bleiben; es liegt aber auch die Möglichkeit vor, daß sie ausgeglichen oder durch andere ersetzt werden. Im letzteren Falle können die Nutationen eine pendelförmige oder mehr oder minder kreisende Bewegung der Spitze des betreffenden Pflanzenteils veranlassen, und in der Tat erscheinen solche Circumnutationen eine ungemein weite Verbreitung im Pflanzenreich zu besitzen.

Die große Wachstumsperiode, ebenfalls ein wichtiges durch innere Ursachen bedingtes Phänomen, prägt sich darin aus, daß einzelne Zellen, Querzonen eines Organs oder die ganzen Organe (Stengel, Blätter, Wurzeln) auch unter konstant bleibenden äußeren Verhältnissen während des Beginns ihrer Entwickelung langsam wachsen, später in der Zeit-

einheit schnelleres Wachstum zeigen, ein Maximum der Geschwindigkeit ihrer Zuwachsbewegung erkennen lassen, um endlich wieder allmählich abnehmende Wachstumsgeschwindigkeit darzubieten.

Wenn jede Querzone eines Pflanzenteils diesen Wachstumsmodus besitzt, so folgt daraus, daß die einzelnen hintereinander liegenden Querzonen eines Organs in gleichen Zeiten verschiedene Wachstumszustände zeigen müssen (Sachs); die jüngsten Zonen befinden sich im Beginn ihrer großen Periode und wachsen somit langsam, ältere wachsen schneller, die ältesten wieder langsamer.

Die Berücksichtigung der im Vorstehenden angegebenen Tatsachen genügt im wesentlichen auch, um das Zustandekommen der großen Wachstumsperiode ganzer Organe, z. B. einer Wurzel oder eines Stengels, zu begreifen. Anfangs sind nur wenige und nur langsam wachsende Partialzonen am Gesamtzuwachs beteiligt; später eine große Anzahl schnell wachsender Zonen; schließlich wieder wenige Zonen mit geringer Wachstumsgeschwindigkeit. Von der Bedeutung der Wachstumsenergie der verschiedenen Partialzonen für die Ausbildung der großen Periode ganzer Organe sehen wir hier ab. (Darwin, Bewegungsvermögen der Pflanzen 1881; Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1; Wortmann, Botan. Zeitung, 1882.)

172. Vorbereitung des Untersuchungsmaterials für manche Beobachtungen über Wachstumsvorgänge und Auftragen von Marken auf Pflanzenteile.

a) Kulturmethode. Unter 1 ist bereits einiges über Ankeimen von Samen in Sägespänen bemerkt worden. Soll Erde als Keimbett dienen, so verwendet man schwarze, sehr humusreiche Gartenerde, welche bei der Kultur von Gewächshauspflanzen gebraucht wird. Diese Erde feuchtet man so weit an, daß sie sich zwischen den Händen zu einer feinkrümeligen Masse zerreiben läßt, und füllt sie ganz locker in große Blumentöpfe ein. Man stampft die Erde in den Töpfen nicht fest, sondern rüttelt sie nur ein. Ueber das Auslegen der Samen vergl. unter 1. Die Kulturgefäße, deren Erde man eventuell während des Keimens der Samen mit etwas Wasser besprengt, stellt man in einem Raum (ca. 20° C) unter großen Zinkblechrezipienten auf. Es sind stets zahlreiche Samen auszulegen. Die Erbsen quellt man, bevor sie in das Keimblatt gelangen, 12, die Samen von Vicia Faba 24 Stunden an, Phaseolussamen legt man direkt, ohne sie einzuquellen, in das Keimbett.

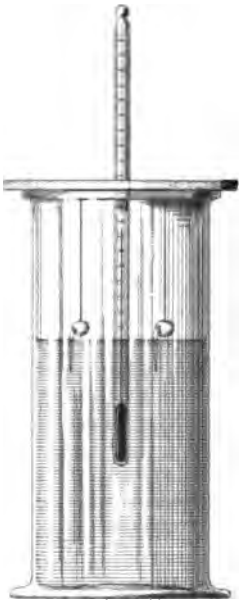


Fig. 106. Glascylinder zur Kultur von Keimpflanzen.

Bei dem Studium des Wurzelwachstums müssen die Keimlinge wie folgt behandelt werden. Als Kulturgefäße dienen Glascylinder von ca. 30 cm Höhe und 15 cm Weite mit matt geschliffenem Rande. Die Gefäße werden mit geschliffenen Glasplatten verschlossen, die mit drei Löchern versehen sind. Zwei dieser Löcher dienen zur Aufnahme von Schrauben, mittelst deren man an der Unterseite jeder Glasplatte eine dicke Korkscheibe befestigen kann. Die Glas-

gefäße werden zu etwa $^2/_3$ mit Brunnenwasser angefüllt, und die in Sägespänen angekeimten Samen nach sehr sorgfältigem Abspülen mit Brunnenwasser (dies Reinigen schützt vor Schimmel- und Bakterienentwickelung) mittelst langer, dünner Nadeln (am besten Nadeln, die aus Nickeldraht hergestellt worden sind) derartig an der mit Wasser durchfeuchteten und auf ihrer Unterseite mit feuchter Watte überkleideten Korkplatte befestigt, daß nur ihre Wurzeln in das Wasser eintauchen. (Vergl. Fig. 106.) Sollen die Wurzeln in Luft wachsen (in diesem Falle sind die Pflanzenteile während des Versuches häufiger durch Eintauchen in Wasser zu benetzen, und die Kotyledonen, ebenso wie auch bei länger dauernder Kultur die Keimlinge in Kontakt mit Wasser, mit feuchter Watte zu umgeben), so wird nur der Boden der Cylinder mit Wasser bedeckt, die Wände derselben aber mit feuchtem Fließpapier belegt. Ein Thermometer, dessen Temperaturangaben man mehrfach am Tage notiert, auch wenn die Cylinder im Thermostaten aufgestellt sind, kann in der dritten Oeffnung der Glasplatte, welche jeden Cylinder verschließt, befestigt werden.

b) Auftragen von Marken. Was das Auftragen feiner Tuschestriche als Marken auf Pflanzenteile anlangt, so werden aus Gründen, die unter 178 angegeben sind, gewöhnlich nicht Vorder- und Hinterseite der Organe, sondern deren Flanken mit den Marken versehen. Wir benutzen beste chinesische Tusche (vergl. „Bezugsquellen") und einen feinen Marderhaarpinsel, der stets sehr sorgfältig sauber zu halten und vor dem Gebrauch besonders auszuwaschen ist. Man taucht die Pinselspitze in die Tusche ein, streift sie auf Fließpapier ab und bringt nun erst die Marken auf dem Untersuchungsobjekt an.

Um das Auftragen der Marken auf Wurzeln von Keimlingen, die in Sägespänen kultiviert worden sind, bequem und sicher vornehmen zu können, benutzt man nach der Methode von Sachs „eine ca. 2 cm dicke Korkplatte, an deren linkem Rand mittelst einer runden Feile verschieden große Kerben eingefeilt worden sind; von jeder derselben gehen auf der Oberfläche des Korkes einige mit dünner, runder Feile hergestellte Rinnen nach verschiedenen Richtungen aus. Man probiert nun, in welche Kerbe sich der Same mit einiger Reibung so einschieben läßt, daß er festhält, und seine Wurzel zugleich in eine der Rinnen zu liegen kommt. Neben die Wurzel legt man eine Millimeterteilung derartig hin, daß man die mit dem Pinsel aufzutragenden Striche als Verlängerungen der Teilstriche des Maßstabes ziehen kann." Vor dem Auftragen der Marken sind die Wurzeln (auch die Stengel) mit einem weichen Leinentuch vorsichtig abzutrocknen; sollen sie in Kontakt mit Wasser weiter wachsen, so müssen die Keimlinge nach der Markierung einige Minuten lang in feuchter Luft (in einer mit Glasplatte bedeckten Kristallisierschale) liegen bleiben, bis die Tusche eingetrocknet ist. Die Marken trägt man gewöhnlich in Entfernungen von 1 oder 2 mm auf die Wurzeln auf. Der erste Strich, den man mit 0 bezeichnet, darf aber nicht 1 mm entfernt von der Wurzelspitze, sondern er muß über dem Vegetationspunkt, den man oft freilich nur undeutlich durchschimmern sieht, und der 0,2 bis 0,5 mm von der Wurzelspitze entfernt ist, liegen. In der Region lebhaften Wachstums der Wurzeln oder Stengel werden die Marken, wenn nach Verlauf kürzerer oder längerer Zeit eine stärkere Streckung der Zellen eingetreten ist, auseinandergezogen erscheinen. Man gewöhne sich daher daran, vor jeder neuen Messung einen feinen schwarzen Punkt in der Mitte zwischen den alten auseinandergezogenen Marken anzubringen, die letzteren mit Fließpapier zu entfernen und da, wo sich der

Punkt befindet, einen neuen Strich aufzutragen. Diesen Strich benutzt man für die Messungen.

Will man auf Stengel oder dickere Wurzeln Tuschestriche als Marken auftragen, so legt man die Untersuchungsobjekte auf eine horizontal gerichtete Korkplatte (bei Benutzung von Topfpflanzen müssen die Blumentöpfe horizontal gelegt und die Korkplatte in die richtige Höhenlage gerückt werden), auf deren einer Längshälfte eine zweite Korkplatte befestigt ist, welche ungefähr die Dicke des zu beobachtenden Pflanzenteils besitzt. Dieser letztere wird gegen den Rand der oberen Korkplatte gelegt und unter Benutzung eines Maßstabes, der auf dieser Platte ruht, mit Marken versehen. Bei der Markierung gekrümmter Pflanzenteile (z. B. des oberen Endes eines Phaseolusepikotyls) benutzt man einen mit Millimeterteilung versehenen Papierstreifen. Das Auseinanderziehen der Marken infolge eingetretenen Wachstums ist auch bei Experimenten mit Stengeln zu beachten. (Vergl. oben.)

173. Die große Wachstumsperiode.

a) Wurzeln von Pisum sativum. Keimlinge von Pisum sativum (Viktoriaerbsen), die in feuchten Sägespänen kultiviert worden sind und 15 mm lange Wurzeln haben, dienen zum Versuch. Wir bringen auf 6 Wurzeln 10 mm entfernt von der Spitze Tuschemarken an. Die weitere Kultur der Keimlinge erfolgt in dem in Fig. 106 abgebildeten Apparat nach der unter 172 angegebenen Methode. Temperatur des Wassers, in welches die Wurzeln bis über die Marke eintauchen, 17 ° C. Das Wasser ist von vornherein auf diese Temperatur zu bringen. Das Kulturgefäß steht im Dunkeln, eventuell im Thermostaten. Die alle 24 Stunden vorzunehmenden Messungen ergeben, daß das Wachstum der Hauptwurzeln zunächst gering ist, später lebhafter wird, ein Maximum der Geschwindigkeit erreicht, um endlich wieder abzunehmen; z. B. Zuwachs einer Wurzel am

1. Tag	7 mm	6. Tag	17 mm
2. „	9 „	7. „	16 „
3. „	16 „	8. „	15 „
4. „	21 „	9. „	7 „
5. „	18 „	10. „	10 „

Hier ist der Zuwachs am letzten Tag durch irgend welche Nebenumstände wieder etwas gestiegen. Man stelle den Zuwachs auch in einer Kurve dar. (Vergl. die den vorstehend angegebenen Zahlen entsprechende Kurve in Fig. 107.)

b) Epikotyl von Phaseolus. Man kultiviert Keimpflanzen von Phaseolus multiflorus im Dunkeln in Gartenerde, mit der Blumentöpfe angefüllt sind. An den ca. 20 mm langen Epikotylen werden dicht über

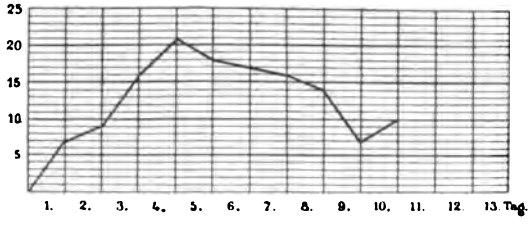


Fig. 107. Graphische Darstellung der großen Wachstumsperiode einer Hauptwurzel von Pisum sativum. (Vergl. die Angaben im Text.)

der Bodenoberfläche Tuschemarken angebracht, und die Entfernung derselben von der Ansatzstelle der Primordialblätter täglich bestimmt.

Aufstellung der Kulturgefäße im Thermostaten bei 20° C. Die große Wachstumsperiode wird konstatiert; das Zuwachsmaximum fällt auf den 4. oder 5. Beobachtungstag.

c) Haferkeimlinge. Haferkeimlinge werden in Sägespänen kultiviert, bis die Plumula 3—4 cm lang geworden ist. Man trägt auf einige Keimlinge in Entfernungen von 2 zu 2 mm Tuschestriche als Marken auf. Zum Markieren nimmt man die Keimlinge aus den Sägespänen heraus, bedeckt die Wurzeln, während man die Plumula mit den Strichen versieht, mit feuchter Watte und pflanzt die Untersuchungsobjekte schließlich vorsichtig in Erde ein. Temperatur 17° C. Nach 24 Stunden ergibt sich durch Messung, daß eine gewisse Partialzone der Plumula am stärksten, die darüber und darunter liegenden Zonen aber schwächer gewachsen sind.

d) Pisum sativum. In Sägespänen zur Entwickelung gebrachte Keimlinge von Pisum (kleine grüne Varietät) mit 15 mm langen Wurzeln werden in Entfernungen von je 1 mm mit Marken versehen (Methode vergl. unter 172). Die Marke 0 liegt 0,3 mm entfernt von der Wurzelspitze. Der Boden des Gefäßes (Fig. 106) wird mit Wasser bedeckt, so daß die Wurzeln in feuchter Luft wachsen. Temperatur 18—20° C. Nach 24 Stunden (besser schon nach 16 Stunden) bestimmt man die Zuwachse der einzelnen Zonen (vergl. Fig. 108). Die Länge der von der Spitze aus aufeinander folgenden Zonen, die ursprünglich je 1 mm betrug, kann jetzt z. B. sein: 5,2; 15; 4,5; 2,5; 1; 1; 1 mm.

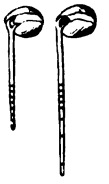


Fig. 108. Links Erbsenkeimling, auf dessen Wurzel Tuschemarken aufgetragen worden sind. Rechts derselbe Keimling, nachdem die Wurzel einige Zeit gewachsen ist.

e) Vicia Faba. Samen von Vicia Faba keimen in Sägespänen. Man trägt auf die 12 mm langen Wurzeln Marken in Entfernungen von je 1 mm auf (Methode vergl. unter 172) und befestigt die Keimlinge im Apparat Fig. 106, der im Thermostaten steht. Temperatur 17° C. Die Wurzeln tauchen bis fast an die Kotyledonen in das vorgewärmte Wasser ein. Die Marke 0 ist 0,5 mm von der Wurzelspitze aufgetragen. Die nach je 12 Stunden vorgenommenen Messungen ergaben bei einem Versuch, den Lohmann in meinem Praktikum ausführte, folgende Werte, alles in Millimetern:

	Zone								
	1. (Basis)	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9. (Spitze)
Beginn	1	1	1	1	1	1	1	1	1
nach 12 Stunden	1	1	1,5	2	2,5	2,5	1,5	1,5	1
nach ferneren 12 Stunden	1	1	1,5	2	3	4,5	4,5	2,5	1,5
„ „ 12 „	1	1	1,5	2	3	5	8	5,5	2
„ „ 12 „	1	1	1,5	2	3	5	9	12	3,5
„ „ 12 „	1	1	1,5	2	3	5	9	19	4
„ „ 12 „	1	1	1,5	2	3	5	9	25,5	7
„ „ 12 „	1	1	1,5	2	3	5	9	28	14,5
„ „ 12 „	1	1	1,5	2	3	5	9	29	24

Die vorstehenden Zahlen geben die Länge der einzelnen Zonen nach je 12 Stunden an. Betrachtet man die Angaben näher, so zeigt sich, daß stets eine Zone maximalen Zuwachses vorhanden ist; im Laufe der Zeit geht das Zuwachsmaximum aber mehr und mehr aus älteren Zonen in jüngere (der Wurzelspitze jetzt näher gelegene) über. Bei Abschluß

des Versuches fing auch jene Region an zu wachsen, welche sich von der Marke O bis zur Wurzelspitze erstreckte.

f) Phaseolus. Wir kultivieren Phaseoluskeimlinge im Dunkeln in mit Gartenerde angefüllten Blumentöpfen. Auf die 2,5 cm langen Epikotyle tragen wir in Entfernungen von je 2 mm Tuschestriche als Marken auf. Weitere Kultur im Thermostaten bei 17° C. Ebenso wie im Versuch e ist bei den alle 24 Stunden auszuführenden Messungen stets das Vorhandensein einer Zone maximalen Zuwachses zu konstatieren. Auch das allmählich erfolgende Fortrücken dieses Maximums in jüngere Zonen des Stengels wird festgestellt. Diese jüngeren Zonen treten infolge des Wachstums des Organs (ebenso wie auch bei der Wurzel) an die Stelle der älter gewordenen Zonen.

174. Wachstumsgeschwindigkeit.

a) Polygonum. Im Mai bestimmen wir die Länge zweier übereinander liegender Internodien von Polygonum cuspidatum. (Die Sprosse haben ca. 1 m Höhe.) Diese perennierende Pflanze ist leicht im Garten zu kultivieren, und für unsere Zwecke genügt es hier, die Ausdehnung der Stengelglieder nach den Ansatzstellen der Blätter zu bemessen. Man mache sich auch Notizen über Lufttemperatur und Regenfall. Haben beide Internodien zusammen eine Anfangslänge von ca. 60 mm, so wird man finden, daß sie bei warmer Witterung im Laufe von 24 Stunden erheblich wachsen und in etwa 4 Tagen doppelte Länge gewinnen. Der Zuwachs eines ganzen Sprosses von Polygonum kann im Mai in 24 Stunden 10 cm betragen.

b) Aristolochiablätter. Relativ schnell wachsen auch die Blattspreiten von Aristolochia Sipho, wie man im Mai feststellen kann, wenn man die Länge der Organe (gemessen von der Ansatzstelle des Blattstieles bis zur Blattspitze) sowie ihre Breite (an der breitesten Stelle) wiederholt an mehreren aufeinander folgenden Tagen bestimmt.

175. Chloroformwirkung auf das Wachstum.

Im Anschluß an das unter 174 Gesagte sei bemerkt, daß die Wachstumsgeschwindigkeit mancher Pflanzen wesentlich durch Gegenwart sehr kleiner Quantitäten verschiedener Stoffe, selbst solcher, die in größerer Menge höchst giftig wirken, gesteigert werden kann. So wirken kleine Mengen schwefelsauren Kupferoxyds recht förderlich auf das Gedeihen von Penicillium ein, und man hat festgestellt, daß auch sehr geringe Quantitäten von Aether, Mangan- und Zinksalzen das Wachstum beschleunigen können. Hier soll gezeigt werden, daß irgendwie größere Chloroformmengen (wie sehr kleine Mengen wirken, ist eine andere Frage) das Wachstum, wenn es einmal in Gang gesetzt ist, verlangsamen.

Kleine grüne Erbsen quellen 12 Stunden lang im Wasser und werden dann in feuchte Sägespäne gelegt. Nach 2—3 Tagen (20° C) haben die Wurzeln etwa 2,5 cm Länge erreicht. Wir bringen auf jeder Wurzel 20 mm entfernt von ihrer Spitze einen Tuschestrich als Marke an und befestigen die Keimlinge mit Hülfe von Nadeln auf der Unterseite von Holzplatten, welche Gläser von ca. 400 ccm Kapazität bedecken. Die Innenwand der Gläser, sowie die Unterseite der Holzplatten überkleidet man mit feuchtem Fließpapier. Der Boden des Glases *a* wird mit 20 ccm Wasser bedeckt; derjenige von *b* mit einem Gemisch von 10 ccm Wasser und 10 ccm gesättigten Chloroformwassers (hergestellt durch Mischen von Chloroform mit Wasser und längeres Stehen-

lassen der Flüssigkeit). Nach 24 Stunden zeigen die Wurzeln (16—18° C) z. B. folgende Zuwachse: *a* 10, 12, 9 mm, *b* 4,5, 5, 7 mm.

Erbsenkeimlinge werden an der Unterseite von Holzplatten befestigt, welche Gläser verschließen, von denen das eine (*a*) 300 ccm Wasser, das andere (*b*) ein Gemisch von 250 ccm Wasser und 50 ccm gesättigtem Chloroformwasser enthält. Die Wurzeln der Keimlinge tauchen in die Flüssigkeiten ein, und wir konstatieren, daß diejenigen von *a* im Laufe einiger Tage lebhaft wachsen, während sich diejenigen von *b* unter dem Einfluß der relativ energischen Chloroformwirkung gar nicht oder fast gar nicht verlängern.

176. Wachstumsenergie.

Einige aus recht großen Samen im Dunkeln sich entwickelnde Erbsenpflanzen werden so lange weiter kultiviert (mehrere Wochen), bis ihr Wachstum erlischt. Messungen der gebildeten 5—7 Internodien ergeben, daß ein mittleres derselben die größte Länge besitzt, also die bedeutendste Wachstumsenergie zur Geltung brachte, während die tiefer sowie höher stehenden Stengelglieder kürzer sind.

177. Torsionen.

Wir kultivieren Keimlinge von Cucurbita Pepo im Dunkeln bei recht hoher Temperatur (22° C). Wenn die Hypokotyle 25 cm Länge erreicht haben, ist das Vorhandensein der Torsion deutlich bei Betrachtung der Kanten der Stengelteile wahrzunehmen. Diese Kanten sind auch infolge der Torsion an Querscheiben, die wir den oberen sowie den unteren Teilen der Hypokotyle entnehmen, verschieden orientiert.

178. Einige spontane Nutationserscheinungen.

a) Experimente mit Vicia. Wir legen einige 24 Stunden lang angequollene Samen von Vicia Faba mit nach abwärts gewandter Mikropyle in lockere, feuchte Sägespäne. Untersuchen wir unsere Keimpflanzen genauer, wenn nach 3—4 Tagen der Keimstengel soeben beginnt, zwischen den Kotyledonen herauszutreten, so finden wir, daß sie gerade, senkrecht nach abwärts gerichtete Wurzeln besitzen. Wir befestigen nun einige Viciakeimlinge mit Hülfe von Nadeln in einem Rezipienten, der mit Wasser angefüllt ist, und sorgen für Lichtabschluß. Die Wurzeln müssen in das Wasser eintauchen; die Kotyledonen werden mit feuchter Watte umgeben. Nach Verlauf von 24 oder 48 Stunden konstatieren wir, daß die Wurzeln ihre ursprüngliche senkrechte Richtung verlassen haben. Die Wurzeln sind in der Weise gekrümmt, wie es Fig. 109 darstellt, eine Erscheinung, die wesentlich durch eine im hypokotylen Gliede und oberen Wurzelteile stattfindende Krümmung hervorgerufen wird. Das fortwachsende Wurzelende kommt natürlich infolge der eingetretenen Nutation schief gegen die Vertikale zu liegen und sucht sich daher vermöge seiner geotropischen Reizbarkeit in einem Bogen nach abwärts zu wenden. Bezeichnet man bei den Keimpflanzen der Papilionaceen diejenige Seite als hintere (vergl. Fig. 109 *H*), auf welcher die Konvexität des Keimstengels liegt, die entgegengesetzte, nach welcher

Fig. 109. Keimpflanze von Vicia Faba.

sich unsere Wurzeln stets hinwenden, als vordere (*V*), so fällt die Medianebene der Keimpflanzen genau mit derjenigen Ebene zusammen, in der sich die beiden Kotyledonen berühren. Die Tatsache, daß die aus der Nutation des Hypokotyls und der Wurzelbasis resultierenden Wurzelkrümmungen stets in den Medianebenen der Keimlinge erfolgen, ist bei Untersuchungen über das Verhalten der Wurzeln in horizontaler Lage aus leicht verständlichen Gründen wohl zu beachten. Man muß den Viciakeimlingen z. B. auf einer horizontalen Unterlage eine solche Stellung geben, daß sie dieser Unterlage mit ihrer rechten oder linken Flanke, also mit der Außenfläche einer ihrer Kotyledonen, aufliegen (Sachs).

b) Versuche mit Phaseolus. Interessante Nutationserscheinungen sind ferner an den ersten Stengelgliedern vieler Dikotyledonen zu beobachten, und wir wollen uns etwas genauer mit denselben bekannt machen, indem wir Phaseolus multiflorus als Untersuchungsobjekt wählen. Wenn wir einen im Wasser zur Quellung gebrachten Samen durchschneiden, so beobachten wir an der Spitze des zwischen den Kotyledonen liegenden Stengelteiles des Embryos eine ziemlich starke Krümmung. Bei der Keimung der Samen wird diese Krümmung noch erheblicher, so daß die Endknospe in völlig nickendem Zustande aus dem Boden hervortritt. Die Konvexität der Krümmung liegt auf der von den Kotyledonen abgewandten, also hinteren Seite des Epikotyls, und die Nutationserscheinung kommt durch ein beschleunigtes Wachstum eben dieser hinteren Seite zu stande. (Vergl. Fig. 110. Bei *a* liegt die Konvexität der Krümmung.) Entwickeln sich unsere Phaseoluspflanzen dauernd im Finstern, so bleibt die Nutation am oberen Ende des Keimstengels lange bestehen; nur in den letzten Keimungsstadien richtet sich die Endknospe senkrecht empor. Dies geschieht dagegen sehr schnell, wenn man junge Keimlinge, deren Endknospe z. B. eben den Boden durchbrochen hat, dem Einfluß hellen diffusen Tageslichtes aussetzt. Die Krümmung des Epikotyls gleicht sich dann alsbald völlig aus.

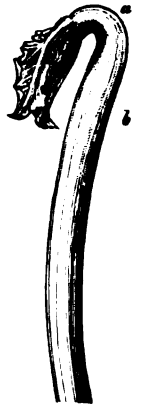


Fig. 110. Keimpflanze von Phaseolus multiflorus, oberer Teil derselben.

Wenn man an derjenigen Stelle eines nutierenden Epikotyls von Phaseolus, welche die stärkste Krümmung zeigt (Fig. 110 bei *a*), einen Tuschestrich als Marke anbringt, so findet man diese Marke nach 24 oder 48 Stunden, während welcher Zeit das Untersuchungsobjekt natürlich im Dunkeln verweilen muß, bei *b* wieder (20° C). Daraus erhellt, daß die ursprünglich nutierenden Teile des Epikotyls sich infolge ihres Wachstums allmählich gerade strecken. Die Nutation geht aber auf die neu entstandenen Stengelteile über. Es zeigt sich aber bei genauer Betrachtung der Marken auch oft, daß die Ebene, in der die Nutation erfolgt, nicht immer die nämliche ist. Uebrigens muß die Nutation als eine durchaus spontane angesehen werden. Sie tritt, wie man weiß, auch ein, wenn die Keimlinge im Dunkeln langsam um eine horizontale Achse rotieren.

Der Winkel, welcher von dem nutierenden Teile des Phaseolusepikotyls gebildet wird, beträgt gewöhnlich 180°, d. h. also die Endknospe des aufwärts wachsenden Stengels ist senkrecht abwärts gerichtet. Bei genauerer Beobachtung zumal recht lebhaft wachsender Phaseoluskeimlinge findet man aber, daß jener Winkel nicht immer derselbe bleibt.

Ist er an einem Tag = 180°, so kann er nach WORTMANN am folgenden z. B. = 90°, am 3. = 145° sein.

179. Circumnutationen.

Da exakte Versuche über Circumnutation sehr mühsam sind und unter Beihülfe des Klinostaten ausgeführt werden müssen (es wäre überhaupt wichtig, den Gegenstand weit eingehender, als dies bisher geschehen ist, zu studieren) so möge hier nur ein Experiment zur allgemeinen Orientierung Platz finden. Man kultiviert Hirse in kleinen Blumentöpfen. Wenn die Keimlinge nach 5—6 Tagen über die Erde hervorgetreten sind, entfernt man die Mehrzahl derselben; nur ein oder zwei Keimlinge bleiben stehen. Der Blumentopf gelangt auf einem mit Wasser angefüllten Teller unter einer Glasglocke ins Dunkle. Temperatur 20° C. Nach je 2 Stunden zeichnet man die Stellung der Keimlinge auf und wird finden, daß die Richtung ihrer Spitze sich fortwährend verändert.

180. Exotropismus der Wurzeln.

Samen von Vicia Faba werden eben angekeimt und mit Watte in der Mündung eines 7 cm langen, 2—2,5 cm weiten Glascylinders mit nach außen konvexem Boden befestigt. Der Cylinder enthält eine 2 cm hohe Wasserschicht, in welche nur die Hauptwurzel eintaucht. Die Wurzel wächst so lange im Dunkeln, bis die ersten Nebenwurzeln an ihrem älteren Teile hervorzutreten beginnen. Sie hatte in dem Cylinder keinen Raum, um sich gerade zu strecken, und erscheint daher jetzt von korkzieherförmiger Gestalt. Wird der Keimling jetzt mit Hülfe einer Nadel an der Korkscheibe eines mit Wasser angefüllten großen Glasgefäßes (Fig. 106) befestigt, so strecken sich die älteren Wurzelteile freilich etwas, aber sie behalten doch der Hauptsache nach ihre korkzieherförmige Gestalt bei, und der durch diese Form des Pflanzenteiles gegebene Reiz bedingt, daß nur auf den konvexen Seiten des Organs Nebenwurzeln zum Vorschein kommen. (NOLL.)

181. Der Zeiger am Bogen.

Zur Demonstration der Zuwachsbewegungen eignet sich besonders ein Apparat, der zuerst von SACHS benutzt wurde und als „Zeiger am Bogen“ bekannt ist. Dieser Apparat, in Fig. 111 in der Form, wie er von PFEFFER konstruiert worden ist, dargestellt, kann in sehr guter Ausführung im Preis von 60 M. vom Universitätsmechaniker ALBRECHT in Tübingen bezogen werden. „Der an die Pflanze angekuppelte Faden *f* ist über die auf den Mittelpunkt des Quadranten *qu* zentrierte Rolle *r* geführt. Als Untersuchungsobjekte benutzen wir bequem junge Keimpflanzen von Phaseolus, die sich in Gartenerde, mit welcher Blumentöpfe

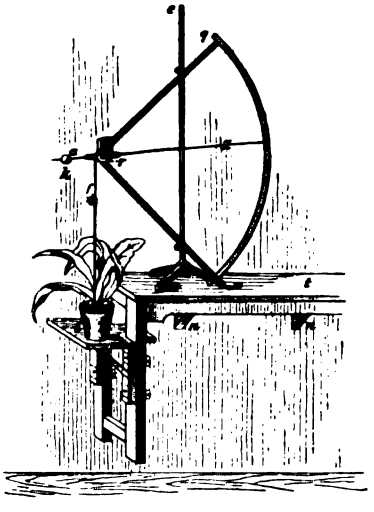


Fig. 111. Zeiger und Bogen. (Nach PFEFFER.)

angefüllt sind, so weit entwickelt haben, daß das Epikotyl etwa 5 cm aus dem Boden hervorragt. Der Faden kann leicht mit einer Schlinge an der Pflanze befestigt werden. Diese letztere findet unter einer tubulierten Glasglocke Platz. Die Rolle *r* trägt einerseits den Zeiger *z*, andererseits den Arm *a*, welcher den Faden *f* durch eine Durchbrechung zu führen gestattet, und ferner die zum Aequilibrieren des Zeigergewichtes, resp. zur Herstellung eines gewissen einseitigen Uebergewichtes dienende verstellbare Kugel *k* trägt. Am besten ist es, den Zeiger vollkommen zu äquilibrieren und das einseitig gewünschte Uebergewicht durch einen entsprechend über die Rolle geführten und durch ein Gewicht (z. B. 5 g) gespannten Faden herzustellen. Der Quadrant hat 70 cm Radius; die Rolle *r* ist klein, so daß eine etwa 43-fache Vergrößerung des Zuwachses von dem aus einem sich verjüngenden Messingrohr gebildeten Zeiger *z* angezeigt wird. Der Quadrant ist an dem schweren Eisenstativ *e* verschiebbar; er muß zitterfrei aufgestellt werden."

182. Das horizontale Meßmikroskop.

Unentbehrlich für genaue Messungen sehr kleiner Zuwachsbewegungen vertikal wachsender Pflanzenteile ist ein horizontal gestelltes Mikroskop (oder Fernrohr). Sehr empfehlenswert ist der in der Fig. 112 abgebildete Quincke-Pfeffersche Apparat, der im Preis von 110 M. vom Universitätsmechaniker Albrecht in Tübingen bezogen werden kann.

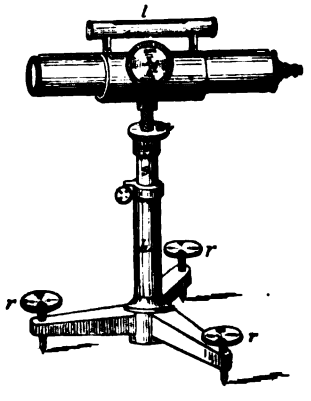


Fig. 112. Horizontales Meßmikroskop. (Nach Pfeffer.)

„Der Tubus des Mikroskops wird durch den Trieb *t* auf das zu beobachtende Objekt eingestellt. Zur groben Verschiebung in vertikaler Richtung dient die in der Hülse *h* bewegliche Säule *s*, während mit der Mikrometerschraube *m* die feine Einstellung erzielt und das Objekt von neuem eingestellt wird, wenn es die Skala des Okularmikrometers durchlaufen hat. Mit Hülfe dieser genau gleichförmig geschnittenen Schraube kann man zugleich, analog wie mit einem Kathetometer, größere, das Gesichtsfeld überschreitende Distanzmarken messen. Bei dem Instrument entspricht z. B. eine Umdrehung 0,792 mm, und auf der in 100 Teile geteilten Trommel können $^1/_2$-Teilstriche exakt abgelesen werden. Die Horizontalstellung des Tubus wird durch die Stellschraube *r* erreicht und durch die Libelle *l* kontrolliert."

Bemerkt sei noch, daß der Fokalabstand des Mikroskops bei 20-facher Vergrößerung 80 mm beträgt. Das Okularmikrometer ist in 120 Teile geteilt. Jeder Teilstrich hat bei 20-facher Vergrößerung den Wert von 0,07 mm; der Wert einer Schraubenumdrehung beträgt, wie gesagt, 0,792 mm. Die Schraube gestattet, Strecken bis zu 3 cm, das Mikrometer Strecken bis zu 8 mm zu messen. Beide Messungsweisen können Verwendung finden. Bei der Benutzung des beschriebenen Mikroskops ist dasselbe vor allem zitterfrei aufzustellen, z. B. auf einem geeigneten Konsoltisch oder auf einer festen Tischplatte, die von einem starken, hölzernen Dreifuß getragen wird.

183. Experiment mit dem Meßmikroskop.

ler mit feuchter Watte bekleideten Unterseite eines Korkes, in Glasgefäß von ca. 100 mm Höhe und 60 mm Durchmesser t, befestigen wir mit einer Nadel einen Erbsenkeimling (kleine bsenvarietät) mit sehr gerade gewachsener, 25 mm langer (Kotyledonen mit feuchter Watte umgeben.) Der Boden des rd mit Wasser bedeckt. (Vergl. Fig. 113.) e völlig vertikal gerichtete Wurzel bereits ıden lang in der feuchten sie umgebenden ergewachsen ist, stellen wir das Glas auf ontal gerichtete Scheibe des Klinostaten ıter 216) und stellen die Wurzelspitze auf ıtimmten Teilstrich des Okularmikrometers eßmikroskops ein. Sogleich wird der Klino- ang gesetzt, und der Zuwachs der Wurzel wenn dieselbe nach längerer oder kürzerer er in das Gesichtsfeld des Mikroskops ge- ei ca. 20° C kann eine Erbsenwurzel in ın z. B. einen 15 Teilstrichen entsprechenden von 1,05 mm erfahren.

Fig. 113. Vorrichtung zur Beobachtung des Wurzelwachstums.

entfernen nun das Wasser aus dem Glase und ersetzen es sättigtes Chloroformwasser. Der Zuwachs der Erbsenwurzel ıchst noch ein sehr geringer sein; später erlischt er völlig, und ritt sogar eine Verkürzung der Wurzel hervor.

184. Keimung der Pollenkörner.

stellen uns zuerst eine kleine feuchte Kammer her, indem wir zu dicker Pappe einen Rahmen schneiden, dessen inneres was kleiner als das zu benutzende Deckglas sein muß. Dieser ıen wird, nachdem er vollständig mit Wasser durchtränkt st, auf einen Objektträger gelegt. Wir bringen nun einen derjenigen Flüssigkeit, in welcher die Pollenkörner keimen ıf ein Deckglas, fügen das Pollenmaterial, welches wir reifen entnommen haben, hinzu und drehen das Deckglas jetzt mit Vendung um. Es wird mit nach unten gekehrtem Tropfen auf rahmen gelegt, und die Keimung der Pollenkörner kann nun ängenden Tropfen vor sich gehen. Wir haben nur dafür zu aß in der feuchten Kammer kein Wassermangel eintritt. Es sich daher, die Objektträger, welche die feuchte Kammer ıf feuchtes, in einer Kristallisierschale befindliches Fließpapier und das Gefäß mit einer Glasplatte zu bedecken. Als Unter- ıbjekte wählen wir z. B. Pollenkörner von Allium Victoriale. Lösung von 3 Proz. Rohrzucker in Brunnenwasser beginnt die bei 18—19° C schon in 2 Stunden (Lichtabschluß). Nach 2 Stunden haben sich die Pollenschläuche erheblich verlängert. n auch bequem mit Pollenkörnern von Tulipa und Narcissus ıtieren. Die Pollenkörner von Impatiens parviflora keimen in Rohrzuckerlösung bereits in einer Stunde.

V. Die notwendigen Wachstumsbedingungen.

Wachstum kann nur erfolgen, wenn hinreichende Mengen plastischer Stoffe (Assimilate, Reservestoffe) disponibel sind. Ohne hinreichenden Wassergehalt der Zellen ist kein Wachstum möglich, weshalb gewelkte Organe oder solche, denen in Berührung mit konzentrierteren Salzlösungen Wasser entzogen wird, nur schwach oder gar nicht wachsen. Selbstregulatorisch kann allerdings bei manchen Pflanzen, auf welche konzentriertere Lösungen einwirken, die Turgorkraft der Zellen derartig gesteigert werden, daß das Wachstum wieder beginnt.

Auf die obligaten Anaëroben (z. B. Buttersäurebakterien) wirkt der molekulare Sauerstoff schädlich ein. Die Aëroben bedürfen des freien Sauerstoffs notwendig zum Leben, speziell für das Wachstum. Sehr kleine Sauerstoffmengen (z. B. 0,5-proz. O-Gehalt der Luft) lassen aber oft schon das Wachstum zu. Das Optimum der Partiärpressung des Sauerstoffs für das Wachstum ist für die einzelnen Pflanzenarten ein sehr verschiedenes. Keimpflanzen von Helianthus annuus wachsen am lebhaftesten in atmosphärischer Luft, die nur unter einem Druck von ca. 100 mm steht, Keimlinge von Vicia Faba bei 200 mm Barometerstand. In Luft von gewöhnlichem Druck wachsen die genannten Keimlinge langsamer als in verdünnter Luft, in reinem Sauerstoff ungefähr ebenso schnell wie in Luft. Komprimierter Sauerstoff wirkt retardierend auf ihr Wachstum ein. Für Keimlinge von Sinapis alba und Brassica napus liegt das Optimum bei 1 Atmosphäre Sauerstoffpressung (reiner Sauerstoff). Geringere und erhöhte Partiärpressung des Sauerstoffs verlangsamen das Wachstum (Bert, Wieler, Jentys). Bemerkt sei noch, daß nach den neuesten Beobachtungen von Godlewski Lupinensamen bei Sauerstoffausschluß schwaches Wurzelwachstum zeigen sollen, aber nur in Frucht- oder Rohrzuckerlösungen.

Von sehr bedeutendem Einfluß auf das Wachstum sind die Temperaturverhältnisse. Von einer bestimmten niederen Temperatur an (Temperaturminimum) beginnt das Wachstum, nimmt mit steigender Temperatur bis zum Temperaturoptimum an Geschwindigkeit zu und wird durch noch höhere Temperaturen wieder verlangsamt. Den höchsten Wärmegrad, bei dem noch Wachstum stattfindet, bezeichnet man als Temperaturmaximum. Die Lage der Temperaturminima, -optima und -maxima ist für verschiedene Pflanzen, für verschiedene Glieder ein und derselben Pflanze und für dieselbe Pflanze in verschiedenen Entwickelungsstadien keineswegs die nämliche. Temperaturminimum für den Tuberkelbacillus 30° C; Temperaturmaximum für gewisse Algen 16° C. Es gibt Algen, die noch bei 0° C oder etwas unter 0° wachsen, thermophile Bakterien, die noch über 70° C gedeihen, während für höhere Pflanzen für die Lage der Kardinalpunkte z. B. folgende Feststellungen gemacht worden sind.

	Keimungstemperaturen in ° C		
	Minimum	Optimum	Maximum
Triticum vulgare	5,0	28,7	42,5
Phaseolus multiflorus	9,5	33,7	46,2
Pisum sativum	6,7	26,6	—
Zea Mays	9,5	33,7	46,2
Cucurbita Pepo	13,7	33,7	46,2

Für Lepidium und Linum liegen die Minima der Keimungstemperaturen bei 1,8° C. (Sachs, Jahrbücher für wissensch. Botanik, Bd. 2.)

Manche Pflanzenteile (Knospen unserer Sträucher und Bäume, oder ır Knollen etc.) entwickeln sich im Herbst, wenn sie gleich den ınstigsten Lebensbedingungen ausgesetzt werden, nicht sofort. Sie üssen eine längere Ruheperiode durchmachen und gelangen erst nach ollendung dieser zur Ausbildung. Es gibt übrigens nicht nur Winter-, ndern auch Sommerruhe der Pflanzen (Schneeglöckchen etc.). Während ır Ruheperiode, die ursprünglich gewiß durch den Wechsel der Jahresiten induziert wurde, aber nach und nach zu einer erblichen Eigenhaft der Pflanzenteile geworden ist, finden in den Zellen Veränderungen att, welche deren später erfolgendes Wachstum allmählich vorbereiten. ım Teil dürfte es sich hierbei, wenigstens in vielen Fällen, um Zuandsänderungen des Protoplasmas handeln, die das Wachstum, wenn nreichende Mengen plastischer Stoffe disponibel sind, überhaupt erst möglichen; andererseits findet aber während der Ruheperiode zugleich ıch eine Ansammlung geeigneten plastischen Materials statt. In den artoffelknollen z. B. wird während der Ruhezeit eine mehr und mehr achsende Diastasemenge gebildet. Damit ist eine ausgiebigere Zucker·oduktion verbunden, und die Keimung der Knollen kann beginnen, enn die Zuckermengen groß genug sind, um nicht nur den Zwecken ır Atmung zu dienen, sondern auch für ein energisches Wachstum Verendung zu finden. Die Ruheperiode kann durch gewisse äußere Einisse sehr bedeutend abgekürzt oder beseitigt werden. So kann man B. Kartoffelknollen schon im Herbst zur Keimung bringen, wenn man e einige Wochen einer Temperatur von 0° C aussetzt. Bei dieser ederen Temperatur ist die Atmung der Zellen sehr gering, die Zuckerldung in denselben aber relativ erheblich, so daß sich reichlichere engen plastischen Materials für das Wachstum anhäufen können. ɔhannsen hat bei Zweigen von Bäumen und Sträuchern sowie bei ulpenzwiebeln durch schwaches Aetherisieren die Ruheperiode überunden und die Knospen zum Treiben gebracht. Auch das Aetherisieren irkt, wie Johannsen fand, förderlich zur Bildung von Zucker und midoverbindungen in den Pflanzenzellen ein. Da indessen manche uhende Organe ebenfalls reich an leicht löslichen plastischen Stoffen . B. Zucker) sind, wird die Wirkung der Narkose nicht allein auf die ildung geeigneten Materials für das Wachstum beschränkt sein, sondern ınd niedere Temperaturen sind wohl in derselben Richtung tätig) überies noch gewisse Hemmungen beseitigen, welche, in dem Ruhezustande orhanden, das Wachstum der Triebe in diesem Zustande ausschließen Johannsen). (Müller-Thurgau, Landwirtschaftl. Jahrbücher, Bd. 11 . 14; Johannsen, Das Aether-Verfahren beim Frühtreiben, 1900.)

185. Das Stoffbedürfnis wachsender Pflanzen.

Wir legen je 3 Samen von Phaseolus multiflorus in Gartenerde ein, it der Blumentöpfe angefüllt sind. Ein Topf wird mit möglichst großen amen beschickt; ein zweiter mit ebensolchen, von denen man aber, enn die Keimung eben begonnen hat und die Hauptwurzel aus der amenschale hervorgebrochen ist, je einen der beiden Kotyledonen entrnt. In einen dritten Topf säen wir kleine Phaseolussamen ein. Die eimung erfolgt im Dunkeln oder bei Lichtzutritt. Wir finden, daß ich die aus großen Samen erwachsenen Pflanzen kräftiger entwickeln, ls jene, welche aus den kleinen Samen oder solchen Samen hervorgehen, on welchen wir einen der Kotyledonen abgeschnitten haben. Da die haseolussamen sehr reich an Reservestoffen sind, so zeigen die Keim-

pflanzen zunächst keine sehr auffallenden Differenzen in ihrem Aussehen, diese treten erst später deutlich hervor, auch wenn die Blätter Gelegenheit haben, bei Lichtzutritt assimilatorisch tätig zu sein. Unter solchen Umständen sind die Unterschiede in der Entwickelung der Pflanzen z. B. erst besonders auffallend, wenn sich das erste dreizählige Blatt entfaltet, und das dritte Internodium in lebhafter Streckung begriffen ist. Näheres kann leicht durch Messung der Länge der Stengelglieder sowie der Länge und Breite der Blätter ermittelt werden.

186. Der Wassergehalt der Pflanzen und das Wachstum.

a) Keimpflanzen. Eine größere Menge kleiner grüner Erbsen wird in bekannter Art in feuchten Sägespänen zur Keimung gebracht. Nach 3 Tagen haben die Untersuchungsobjekte bei ca. 20 ° C Wurzeln von etwa 30 mm Länge gebildet. Wir wählen aus dem Vorrat recht gleichmäßig entwickelte Keimlinge aus, nachdem wir 4 Bechergläser von etwa 350 ccm Inhalt aufgestellt haben. Glas 1 wird mit 300 ccm Brunnenwasser, Glas 2 mit 300 ccm 1-proz. Kalisalpeterlösung, Glas 3 mit 2-proz., Glas 4 mit 5-proz. Kalisalpeterlösung beschickt. Jedes Glas wird mit einer dünnen Holzplatte bedeckt. An der unteren Fläche der Holzplatten befestigen wir je 5 Erbsenkeimlinge derartig, daß die Wurzeln in einer Länge von 20 mm in die Flüssigkeiten eintauchen, während die Kotyledonen nicht benetzt werden. Vor der Befestigung der Keimlinge ist am oberen Ende der Wurzel ein Tuschestrich als Marke anzubringen und die Länge der Wurzeln von der Marke bis zur Spitze durch Messung zu bestimmen. Nach Verlauf von 24 Stunden finden wir, daß die 5 Wurzeln des Glases 1 stark gewachsen sind, die Wurzeln im Glase 2 haben sich auch noch stark, diejenigen im Glase 3 sehr wenig verlängert, und die Wurzeln im Glase 4 haben sich sogar verkürzt.

b) Penicillium. Wir stellen eine Lösung her, die in 100 Teilen Wasser 0,4 Teil Ammoniumnitrat, 0,2 Teil saures phosphorsaures Kali, 0,02 Teil schwefelsaure Magnesia und 0,01 Teil Chlorcalcium enthält. Je 100 ccm dieser Lösung gelangen in Glaskölbchen und werden mit 10 g und 20 g (10, 20 Proz.) Rohrzucker versetzt. Die Flüssigkeit in den mit Watteverschluß versehenen Kölbchen wird zur Sterilisierung einige Zeit gekocht und nach dem Erkalten mit Sporenmaterial von Penicillium glaucum infiziert (vergl. unter 40). Nach längerer Zeit ergibt sich, daß der Pilz selbst noch in der 20-proz. Zuckerlösung wächst. Es können Pilze noch in Lösungen gedeihen, die einen so hohen Konzentrationsgrad besitzen, daß sie die Entwickelung höherer Pflanzen nicht mehr zulassen.

187. Das Sauerstoffbedürfnis aërober Pflanzen.

a) Orientierungsversuch. Eine Kochflasche von 200 ccm Inhalt wird zu $^2/_3$ mit destilliertem Wasser angefüllt. Man erhitzt das Wasser zum Sieden, entfernt die Flasche von der Gasflamme und verschließt die Mündung des Gefäßes mit einem Kautschukkork. Nach dem Erkalten des nunmehr luftfreien Wassers füllen wir etwa 50 ccm desselben in ein kleines Glas, bringen schnell 10 Weizenkörner in das Wasser, entfernen mittelst eines Glasstabes die an der Oberfläche der Körner etwa haften gebliebenen Luftblasen und bedecken die Flüssigkeit mit einer Schicht Olivenöl. Die von der Luft völlig abgeschlossenen Weizenkörner keimen nicht, während zum Vergleich auf feuchtes Fließpapier gelegte, angequollene Weizenkörner alsbald keimen. Die dem

Luftzutritt nicht entzogenen Untersuchungsobjekte können ihren Embryo durch Wachstum seiner Zellen zur Entwickelung bringen.

b) Ausschluß des Wachstums in Wasserstoffgas. Zwei retortenartige Gefäße von ca. 90 ccm Inhalt (vergl. Fig. 13) werden mit ausgekochtem und bei Luftabschluß wieder völlig abgekühltem destillierten Wasser angefüllt. In jedes Gefäß bringt man einige lufttrockene Weizenkörner und taucht die Mündungen der Gefäße unter Quecksilber. Nach 24 Stunden, wenn die Samen gequollen sind, verdrängt man das Wasser des einen Gefäßes bis auf einen ganz kleinen Rest durch atmosphärische Luft, dasjenige des anderen durch reines Wasserstoffgas. Dieses entwickelt man im Kippschen Apparat aus arsenfreiem Zink, durch Uebergießen desselben mit verdünnter Salzsäure (1 Teil Wasser und 1 Teil HCl) und leitet es zur Reinigung durch wäßrige Lösungen von Aetzkali und übermangansaurem Kali. In Kontakt mit der Luft keimen die Samen alsbald; im Wasserstoff tritt keine Keimung ein. Haben die Samen keine zu lange Zeit (etwa 2—3 Tage) im Wasserstoff verweilt, so keimen sie aber, wenn man sie nachträglich normalen Keimungsbedingungen aussetzt.

c) Keimung in sauerstoffarmen Gasgemischen. Mit Hülfe der angegebenen Methode ist auch der Nachweis zu führen, daß die Keimung der Samen noch in einem recht sauerstoffarmen Gasgemisch (welches z. B. aus atmosphärischer Luft und mehr oder minder großen Wasserstoffquantitäten besteht) möglich ist.

d) Keimung in reinem Sauerstoff. Daß manche Samen, z. B. Weizen, in reinem Sauerstoff ebenso schnell wie in atmosphärischer Luft keimen, läßt sich leicht zeigen, indem man das Wasser der unter b erwähnten Apparate teils durch Luft, teils durch reinen Sauerstoff verdrängt. Den erforderlichen Sauerstoff entwickelt man in einer Retorte aus einem Gemisch von chlorsaurem Kali und Braunstein, leitet ihn zur Reinigung durch Kalilauge und fängt ihn in Gefäßen auf, nachdem dieselben vor 24 Stunden in angegebener Weise mit luftfreiem Wasser und den Samen beschickt worden waren.

188. Die Beeinflussung des Wachstums durch Temperaturverhältnisse.

a) Kardinalpunkte der Temperatur. Nicht zu kleine Blumentöpfe, die ungefähr 15 cm Durchmesser am oberen Rande haben, werden mit humoser Gartenerde zu $^2/_3$ angefüllt. Diese Erde wird vor dem Gebrauch so weit angefeuchtet, daß sie sich zwischen den Händen zu einer feinkrümeligen Masse zerreiben läßt, um das Material dann locker in die Töpfe einzubringen und in diesen einzurütteln. In die Erde (an Stelle derselben können wir auch noch besser angefeuchtete Sägespäne verwenden) legen wir die zur Untersuchung bestimmten Samen (Pisum, Phaseolus, Zea, Cucurbita, Triticum) derartig ein, daß die hervorbrechenden Wurzeln, ohne Krümmungen ausführen zu müssen, gerade nach abwärts wachsen können. Jeder Topf wird mit 6—8 (oder einer noch größeren Anzahl) Samen beschickt. Auf gleiche Tieflage der Samen ist natürlich zu achten. Während der Versuche ist für Ersatz des aus dem Boden verdunstenden Wassers Sorge zu tragen.

Die Töpfe gelangen nun in Räume von möglichst konstanten Temperaturen. Bei Versuchen, welche den Zweck haben, den Einfluß höherer Temperaturen (20, 25, 30, 45 ° C) auf die Keimung festzustellen, müssen die Kulturgefäße im Thermostaten (vergl. unter 90) untergebracht werden. Die Temperatur des Bodenmaterials, in welchem die Samen keimen, ist

häufiger festzustellen. Jeder Topf ist daher mit einem Thermometer versehen. Die Töpfe werden nicht mit Glasplatten bedeckt; auf den Boden des Innenraumes des Thermostaten bringen wir Wasser, um die Luft im Apparat feucht zu erhalten. Die Töpfe stehen etwas erhöht, so daß sie nicht in das Wasser eintauchen. Bevor die Samen eingelegt werden, ist das Keimbett auf die gewünschte Temperatur zu bringen. Beobachtungen bei 5, 10, 15° C wird man oft am zweckmäßigsten ohne Thermostaten in geeigneten, ungeheizten oder durch gute Regulieröfen erwärmten Lokalitäten (im Sommer z. B. in nach Norden gelegenen Zimmern oder in Kellern) ausführen. Es dürfen aber im Laufe von 24 Stunden keine erheblichen Temperaturschwankungen vorkommen; darauf ist besonders zu achten, und es muß der Temperaturzustand der Erde, in welcher die Samen ruhen, daher täglich stets mehrfach kontrolliert werden. Die Resultate aller Temperaturablesungen sind zu notieren, um das Temperaturmittel berechnen zu können.

Jeder Versuch wird über 48 oder 72 Stunden, oder über eine noch längere Zeit ausgedehnt. Dies letztere ist natürlich namentlich erforderlich, wenn man die Experimente bei niederen Wärmegraden anstellt. Jeder der mühsamen und viel Aufmerksamkeit erfordernden Versuche beginnt mit dem Moment des Einlegens der Samen. Nach der angegebenen Zeit nimmt man die Keimlinge aus dem Boden heraus, bestimmt durch Messung die Länge ihrer Keimteile und gewinnt auf diesem Wege Zahlen, aus denen sich leicht ein Mittelwert für die Länge ableiten läßt, welche die Keimteile im Laufe bestimmter Zeit bei bestimmter Temperatur erreicht haben.

Versuch mit kleinen grünen Erbsen. Je 24 Samen benutzt; nach je 3 Tagen 8 beste Keimlinge jeder Reihe gemessen. Mittelwerte:

°C	Länge der Wurzeln in mm	Länge des Epikotyls:
12	8	Bei ca. 22° C und auch bei
ca. 22	28	32—33° C
26,5	54	kürzer als bei
32—33	59(?)	26,5° C
41	—	

Samen von Cucurbita Pepo keimen in 3 Tagen bei 12° C nicht; bei 25° C erreichen die Wurzeln in 3 Tagen 43 mm Länge; bei 32° C erfahren Wurzeln und Hypokotyl eine sehr starke Entwickelung, und bei 38—40° C bleiben die Cucurbitawurzeln wieder kurz. Zur genauen Bestimmung der Lage der Temperaturminima, -optima und -maxima für die Keimung verschiedener Samen sind natürlich sehr ausführliche Studien erforderlich. (Sachs, Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik, Bd. 2.)

b) Wurzelwachstum. In Sägespänen angekeimte Körner von Zea oder Samen von Pisum mit ca. 2 cm langen Wurzeln dienen zum Versuch. Die Wurzeln mehrerer Exemplare werden an ihrer Basis mit einer Tuschemarke versehen, die Länge der Wurzeln bis zur Spitze gemessen, um die Objekte nun derartig, wie unter 172 angegeben worden ist, mit Hülfe von Nadeln an der Korkplatte des Deckels größerer Glasgefäße zu befestigen. Die Wurzeln müssen in das Wasser eintauchen, mit dem diese Glasgefäße angefüllt sind. Ein Gefäß stellen wir z. B. bei 12° C, ein zweites bei 20° C, ein drittes bei 25° C auf, nachdem das Wasser in denselben vorher bereits auf diese Temperaturen gebracht wurde. Benutzung von Thermostaten ist vielfach geboten. Die nach Verlauf von 24 Stunden vorgenommene Messung der Wurzeln (jeder

Versuch wird zur Gewinnung von Mittelwerten vielleicht mit 5 Keimingen angestellt) führen zu dem Resultat, daß bei den höheren Temperaturen ein erheblich schnelleres Längenwachstum der Wurzeln erfolgt ist, als bei den niederen Wärmegraden. Nach KÖPPEN liegt das Temperaturoptimum für das Wurzelwachstum von Zea und Pisum bei 26° bis 27° C. Bei 36,5° C wachsen die Wurzeln beider Pflanzen noch wenig. Zuwachs ca. 2 cm langer Wurzeln von Pisum in 24 Stunden bei 14° C 12 mm, bei 22° C 21 mm.

189. Die Jahresperiode der Pflanzen.

a) Kartoffelknollen. Kartoffelknollen werden im Herbst ins warme Zimmer gebracht und hier, vor Licht geschützt, in einem Kasten mit nicht luftdicht schließendem Deckel aufbewahrt. Infolge der Ruheperiode der Knollen beginnt deren Keimung erst um Neujahr oder noch später.

Wir bringen im Herbst Kartoffeln in ein großes Glaßgefäß mit nicht luftdicht schließendem Deckel und stellen das Gefäß in einem Eiskeller zwischen den Eismassen auf. Nach etwa 5 Wochen werden einige Knollen in feuchter lockerer Gartenerde, die sich in Blumentöpfen befindet, bei Lichtabschluß günstigen Keimungsbedingungen im Zimmer ausgesetzt. Die Entwickelung der Knospen beginnt alsbald, während Parallelversuche lehren, daß nicht vorher abgekühlte Knollen erst viel später keimen. (Angabe nach den Resultaten der Experimente von MÜLLER-THURGAU.)

b) Zuckergehalt der Knollen. Eine Kartoffelknolle, die schon einige Wochen im warmen Zimmer gelegen hat, wird auf einem Reibeisen zerrieben. Man versetzt den Brei mit 70 ccm Wasser, läßt eine Stunde lang stehen und filtriert. Beim Eintragen von 10 oder 20 ccm klarer Flüssigkeit in heiße FEHLINGsche Lösung findet man, daß der Saft keine Glykose oder nur Spuren derselben enthält. Wenn man in derselben Weise gekeimte Kartoffelknollen untersucht, so findet man dagegen recht erhebliche Zuckermengen in denselben. Ebenso sind ungekeimte Knollen, die im Eiskeller verweilt haben (vergl. unter *a*) oder die in einem gewöhnlichen Keller einige Wochen bei etwas über 0° aufbewahrt wurden, recht zuckerreich. (Ueber Methode der quantitativen Zuckerbestimmung vergl. unter 124 und 194 b.)

c) Diastasegehalt der Knollen. Die gesteigerte Diastaseproduktion bei der Keimung der Kartoffel, welche die in denselben eintretende erhöhte Zuckerbildung bedingt, läßt sich nachweisen, indem man z. B. Anfang Dezember aus ungekeimten Knollen, und etwa im März aus den Trieben gekeimter Knollen in oben angegebener Weise Extrakte herstellt und je 20 ccm der Flüssigkeiten mit wenig verdünntem Stärkekleister versetzt (vergl. Methode unter 128). In den ungekeimten Knollen ist das Vorhandensein von Diastase nicht sicher festzustellen, während das Ferment in den Keimen nachzuweisen ist.

d) Paviasprosse. Einige große Zweige von Pavia rubra werden Mitte Januar abgeschnitteu, mit der Basis in Wasser gestellt und ins Warmhaus gebracht. Die Knospenentfaltung tritt etwa Mitte März ein. Stellt man abgeschnittene Paviazweige Ende Oktober ins Warmhaus, so entfalten sich die Knospen erst nach Mitte März. Die relativ schnelle Entwickelung der Knospen solcher Zweige, die erst im Januar ins Warmhaus gelangen, hat vielleicht unter anderem darin ihren Grund, daß sich in ihren Geweben während ihres Verweilens im Freien infolge der

herrschenden niederen Temperatur so viel Zucker anhäufen kann, daß genügende Mengen desselben für die Zwecke der Atmung und des Wachstums zur Verfügung stehen.

e) Prunussprosse. Zweige von Prunus avium werden Ende Oktober mit der Basis in Wasser gestellt und ins Warmhaus gebracht. Die Knospen der Zweige treiben trotz günstiger Vegetationsbedingungen nicht aus; sie gehen vielmehr allmählich zu Grunde. Prunuszweige, die man Mitte Dezember ins Warmhaus bringt, blühen dagegen etwa nach 4 Wochen. Wenn man die Zweige erst Mitte Januar zum Versuch abschneidet, so entfalten sich die Blüten noch schneller.

f) Verschiedene andere Sprosse. Es ist zu bemerken, daß die Energie, mit der die Winterknospen verschiedener Pflanzenarten austreiben, wenn man abgeschnittene Zweige derselben z. B. im Februar in warme, feuchte Räume bringt, graduell eine recht verschiedenartige ist. Die Knospen von Weidenzweigen entwickeln sich recht schnell; ebenso diejenigen von Syringa und von Forsythia. Die Knospen des Goldregens gelangen schon nicht so rasch zur Entfaltung.

190. Beeinflussung von Pflanzenteilen im Zustande der Ruheperiode durch Aetherwirkung.

Möglichst große Sprosse von Syringa vulgaris werden, ohne ihnen Wasser darzubieten, Anfang November in ca. 30 ccm hohe Gläser von 4 l Kapazität mit abgeschliffenem Rand gestellt. Ein Glas wird einfach mittelst einer Glasplatte dicht verschlossen. Das andere Glasgefäß bedecken wir ebenfalls mit einer mattgeschliffenen, am Rande gut eingefetteten Glasplatte, die in ihrer Mitte eine Durchbohrung hat. Diese verschließt man mit einem Korke. In denselben ist ein Draht eingeführt, der ein kleines Glas trägt. In das im oberen Teil des großen Gefäßes aufgehängte Glas bringen wir 2,5 ccm Aether, beschweren die Glasplatte durch Gewichte und lassen die Apparate 48 Stunden lang im warmen Zimmer stehen. Nach Ablauf dieser Zeit gelangen die Zweige ins Warmhaus. Sie tauchen mit der Basis in Wasser ein. Wir finden schon nach 8 Tagen die Knospen der ätherisierten Zweige relativ weit entwickelt, während die Knospen der nicht ätherisierten Untersuchungsobjekte noch in fast völligem Ruhezustande verharren.

VI. Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf das Wachstum.

Manche Pflanzenteile (Farnsporen, Brutknospen von Marchantia, Samen von Viscum, Laubknospen der Buche) sind unfähig, sich unter gewöhnlichen Umständen im Dunkeln zu entwickeln; Licht versetzt sie erst in einen reaktionsfähigen Zustand (Pfeffer), den man Phototonus nennt. Anlage vieler Blüten findet im Dunkeln nicht statt (Vöchting). Viele Blätter wachsen freilich schwach im Finstern; Lichteinfluß ruft aber doch erst ihre normale Ausbildung hervor. Manche Pilze sowie viele bereits angelegte Blüten werden in ihrem Wachstum gar nicht oder kaum durch Beleuchtungsverhältnisse beeinflußt. Die ersten Teile der Kartoffelknollen erlangen dagegen nur im Finstern normalen Charakter.

Bei Kultur vieler Pflanzen im Dunkeln zeigt sich, daß dieselben (freilich nicht sämtliche) bedeutend überverlängerte Stengel und sehr kleine Blätter erzeugen. Blätter von Beta erreichen aber im Finstern ungefähr normale Größe, und diejenigen der Gräser werden im Dunkeln länger, indessen schmäler als bei Lichtzutritt. Die Stengel von Humulus zeigen im Dunkeln keine Ueberverlängerung. (Sachs, Botan. Zeitung, 1863, Beilage.)

Bei schwachem Licht tritt nicht, wie im Dunkeln, völliges, sondern teilweises Etiolement hervor. Viele Laubblätter gewinnen bei relativ schwachem Licht die bedeutendste Flächenentwickelung. Bei höherer Lichtintensität nimmt die Größe der Laubblätter wieder ab, ihre Dicke aber zu.

Die starke Verlängerung vieler Stengel im Finstern ist Folge einer in den Organen stattfindenden Zellüberverlängerung, die auch weiterhin eine Zellübervermehrung bedingt. Jene erstere kommt zu stande, indem die Zellhäute im Finstern (natürlich infolge eigenartiger Reaktion des Protoplasmas) nicht ihre normale Dicke erreichen und somit unter dem Einfluß der Turgorkraft stärkere Dehnung und ausgiebigeres Wachstum erfahren. (Kraus, Jahrb. f. wissenschl. Botanik, Bd. 8.)

Biologisch ist die Ueberverlängerung der Stengelteile insofern wichtig, als durch dieselbe z. B. die Blattgebilde der Keimpflanzen selbst bei bedeutender Tiefe lage der Samen im Boden ans Licht befördert werden können. Bei Keimpflanzen (Erbsen etc.), deren Kotyledonen im Boden stecken bleiben, zeigen auch in der Tat nur das Epikotyl und die folgenden Internodien die Ueberverlängerung, während das Hypokotyl auch im Dunkeln kurz bleibt. (Godlewski.)

Was die Blätter anlangt, so ist zu beachten, daß dieselben, nachdem sie ergrünt sind und assimiliert haben, gewöhnlich sehr schnell zu Grunde gehen, wenn sie ins Dunkle oder am Licht in kohlensäurefreie Atmosphäre gelangen. Ihr Chlorophyll erleidet, wenn es nicht assimilieren kann, pathologische Veränderungen, die den Tod des ganzen Organs bald nach sich ziehen (Vöchting, Jost). Führt man dagegen, wie Sachs es getan hat, den Gipfel einer im übrigen unter normalen Bedingungen gehaltenen Pflanze in einen dunklen Raum ein, so daß sich die jungen Blätter des Gipfels von *vornherein* im Finstern ausbilden, dann erreichen sie, wenn nur die grünen Teile des Untersuchungsobjektes hinreichend stark assimilieren, und wenn man durch Ausschneiden von Seitenknospen am verdunkelten Teil zu lebhafter Konkurrenz der Organe vorbeugt, oft normale Größe.

Das Kleinbleiben etiolierter Blätter ist aber durchaus nicht Folge von Nährstoffmangel oder höchstens bis zu einem gewissen Grade Folge eines gesteigerten Nährstoffverbrauches der sich überverlängernden Internodien (vergl. Godlewski, Bot. Zeitung, 1879, S. 101), sondern wird durch eine *direkte* Wirkung des Lichtmangels bedingt. Die Zellen befinden sich nicht im Zustande des Phototonus. Lichtzutritt schafft erst in den Blattzellen diejenigen Bedingungen stofflicher oder dynamischer Art, welche deren ausgiebiges Wachstum ermöglichen. Es können auch solche Bedingungen, wenn sie in den beleuchteten Teilen einer Pflanze zu stande kommen, von diesen aus auf die verdunkelten Organe des nämlichen Individuums übertragen werden.

Versuche von Vines lehren, daß gemischtes gelbes Licht auf das Wachstum von Phycomycesfruchtträgern und Keimpflanzen ähnlich wie

Dunkelheit wirkt, während sich die genannten Objekte im gemischten blauen Licht bezüglich ihres Wachstums wie im Tageslicht verhalten.

Das Wachstum der meisten Pflanzenteile, die unter normalen Lebensbedingungen dem Wechsel von Licht und Dunkel ausgesetzt werden, erfährt durch den Lichteinfluß eine Verlangsamung. Recht intensives Licht hebt nach Wiesner das Wachstum der Keimpflanzen von Lepidium sativum und Vicia Faba sogar völlig auf. Die retardierende Wirkung des Lichtes auf das Wachstum kann zu stande kommen, indem der Lichtzutritt die Turgorkraft der Zellen herabsetzt oder die Tätigkeit des Protoplasmas beim Wachstum direkt modifiziert.

Phycomycesfruchtträger reagieren durch veränderte Wachstumsgeschwindigkeit momentan auf den Beleuchtungswechsel, während Stengel etc. dies erst nach einiger Zeit tun.

Wenn Pflanzen unter übrigens konstant erhaltenen äußeren Bedingungen dem Wechsel von Tag und Nacht ausgesetzt werden, so zeigt das Wachstum ihrer Organe (Stengel, Blätter) vielfach eine tägliche Periodicität. Nachts ist das Wachstum lebhafter als am Tage. Das Maximum des Zuwachses macht sich zumeist erst in den frühen Morgenstunden, das Minimum in den Abendstunden geltend. (Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1.) Wirken Röntgen- oder Radiumstrahlen auf im Wachstum befindliche Pflanzenteile ein, so tritt Herabsetzung ihrer Wachstumsgeschwindigkeit ein (Koernicke, Ber. d. dt. botan. Gesellsch., 1904.)

191. Experimente mit Fagus.

Ueber einen Zweig eines Baumes von Fagus silvatica wird Ende Februar ein ca. 75 cm langer und ca. 24 cm breiter Wachstuchsack gezogen und lichtdicht befestigt. Wenn der Baum Anfang Mai austreibt, entfernt man den Sack. Die verdunkelt gewesenen Knospen haben sich nicht entwickelt. Dies geschieht nun erst am Licht in ca. 3 Wochen. (Jost hat diesen lehrreichen Versuch zuerst angestellt, ich wiederholte ihn mit bestem Erfolg.)

192. Experimente mit Hyacinthus.

Man lege einige Hyacinthenzwiebeln auf mit Wasser angefüllte sog. Hyacinthengläser und kultiviere die Pflanzen bei nicht zu hoher Temperatur im Dunkeln. Es entwickeln sich etiolierte Stengel und Blätter; die zur Ausbildung gelangenden Blüten unterscheiden sich aber bezüglich ihrer Form und Farbe in keiner Weise von solchen Blüten, die sich unter normalen Umständen entfalten.

193. Experimente mit Blättern.

a) Phaseolus. Um zu zeigen, daß die Laubblätter ihre maximale Flächenentwickelung nicht bei hoher, sondern bei einer gewissen mittleren Lichtintensität gewinnen, werden Exemplare von Phaseolus multiflorus teils im Freien, an einem Ort, wo sie direktem Sonnenlicht ausgesetzt sind, teils vor einem Nordfenster kultiviert. Bei den meisten ausgewachsenen Primordialblättern treten die Größenunterschiede, wie durch Messungen näher festzustellen ist, deutlich hervor.

b) Buche. Wir stellen Querschnitte von Rotbuchenblättern her, die sich im Waldesschatten entwickelt haben, und vergleichen damit die Querschnitte solcher Blätter, welche an einem freistehenden Baum unter der Einwirkung direkten Sonnenlichtes zur Ausbildung gelangten. Die

bedeutendere Dicke dieser letzteren Blätter fällt sofort auf. Inwieweit das Resultat der Versuche a und b durch verschiedenen Feuchtigkeitsgehalt der Luft mitbestimmt wird, ist noch zu untersuchen.

194. Experimente mit Kartoffelknollen.

a) Trockene Luft. Im Dezember oder Januar werden Kartoffelknollen in einen Kasten gelegt, der mit einem nicht luftdicht schließenden Holzdeckel versehen ist. Andere Knollen gelangen in einen zweiten Kasten, welcher mit einer Glasplatte verschlossen wird. Beide Kästen stellen wir am Nordfenster eines geheizten Raumes auf. Wasser wird den Untersuchungsobjekten nicht zugeführt. Im Laufe einiger Wochen oder Monate entwickeln die „Dunkelknollen" ziemlich lange, die „Lichtknollen" dagegen nur sehr kurz bleibende Triebe von gedrungenem Bau.

b) Zuckerproduktion. Ohne Wasserzufuhr gekeimte „Dunkel- und Lichtkartoffeln" untersuchen wir auf ihren Gehalt an Glykose. (Vergl. unter 124.) Einige Knollen werden auf einem Reibeisen zerrieben und der Brei gut gemischt. Je 30 g des Breies übergießt man in einem Becherglas mit ca. 50 ccm destilliertem Wasser, läßt unter häufigem Umrühren eine Stunde lang stehen, filtriert unter Zuhülfenahme einer Saugpumpe, wäscht den Rückstand auf dem Filter gut aus und füllt das Filtrat auf 200 ccm auf, 100 ccm (15 g frischer Kartoffelmasse entsprechend) werden zur Abscheidung von Proteinstoffen etc. mit Bleiessig versetzt, um endlich im Filtrat den Zucker mittelst Fehlingscher Lösung zu bestimmen. Die Dunkelknollen enthalten relativ viel Zucker, die Lichtknollen gar keinen oder nur wenig.

c) Feuchte Luft. Es ist lehrreich, Kartoffelknollen im Dunkeln einer- und bei Lichtzutritt andererseits in feuchter Luft zur Keimung zu bringen und die unterschiedliche Entwickelung der Triebe auch unter solchen Umständen zu beobachten. Wir legen die Knollen auf stets feucht zu erhaltenden Sand, mit welchem Schalen angefüllt sind, von denen die eine unter eine große Glasglocke, die andere aber unter einen Zinkrezipienten gestellt wird.

d) Boden. In die mäßig feuchte Erde eines großen Blumentopfes, der im warmen Zimmer unter einem Zinkblechrezipienten Platz findet, legen wir einige Kartoffelknollen ein, so daß dieselben völlig von der Erde bedeckt sind. Bei der Keimung der Knollen entstehen sehr lange Triebe mit kleinen Blättern; an den Trieben entspringen viele Wurzeln und als Achselsprosse auch Stolonen, die an ihren Enden häufig zu kleinen Knollen anschwellen. (Details bei Vöchting, Bibliotheca botanica, Cassel 1887, Heft 4.)

195. Etiolierungserscheinungen.

a) Orientierungsversuch. In die Gartenerde mehrerer Blumentöpfe von mittlerer Größe legen wir je 4 oder 6 Samen von Phaseolus oder Cucurbita Pepo ein. Einige Töpfe setzen wir im Freien, ohne sie weiter zu bedecken, dem direkten Sonnenlichte aus; andere Kulturgefäße stellen wir unter einen Zinkblechrezipienten. Für Ersatz des verdunsteten Wassers ist natürlich durch Besprengen des Bodens mittelst einer Brause zu sorgen. Die „Dunkelpflanzen" produzieren viel längere Stengelteile (Epikotyl bei Phaseolus und Hypokotyl bei Cucurbita), aber erheblich kleinere Blätter (Primordialblätter bei Phaseolus und Kotyledonen bei Cucurbita), als die „Lichtpflanzen". Genauere Messungen geben Mittelwerte. (Vergl. Fig. 114—117.)

b) Speziellere Beobachtungen. In Versuch a sind die U suchungsobjekte verschiedenen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältn ausgesetzt. Bei den bisherigen Studien über das Etiolement ist überhaupt nicht genügend beachtet worden, und um den Lichte reiner hervortreten zu lassen, verfahren wir, wie folgt.

Eine ganze Anzahl mittelgroßer Blumentöpfe wird mit feu Gartenerde angefüllt. Für gute Drainage ist zu sorgen, indem ma

Fig. 114. Fig. 115. Fig. 117.

Fig. 116.

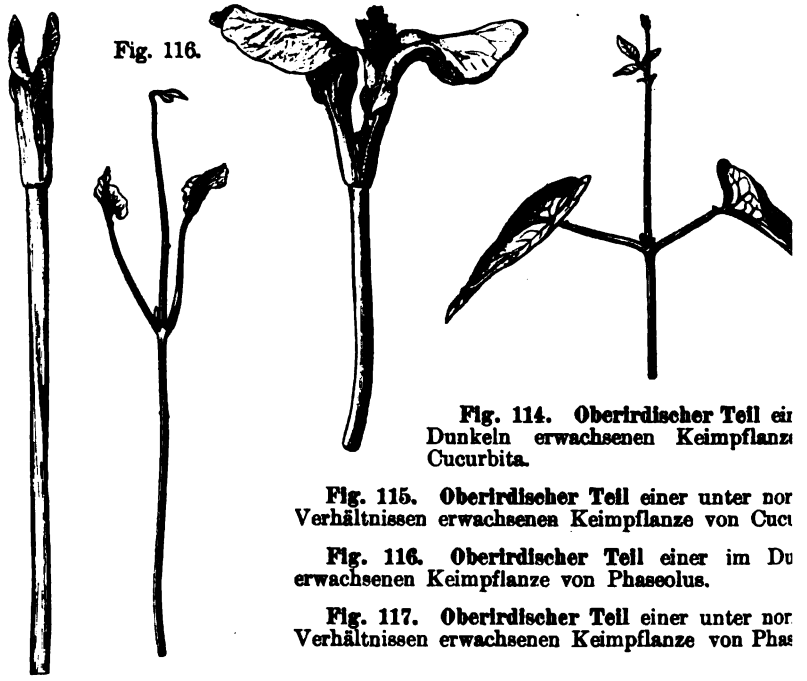


Fig. 114. Oberirdischer Teil ei Dunkeln erwachsenen Keimpflanz Cucurbita.

Fig. 115. Oberirdischer Teil einer unter nor Verhältnissen erwachsenen Keimpflanze von Cuc

Fig. 116. Oberirdischer Teil einer im Du erwachsenen Keimpflanze von Phaseolus.

Fig. 117. Oberirdischer Teil einer unter nor Verhältnissen erwachsenen Keimpflanze von Pha

Oeffnung am Boden der Töpfe mit einer Scherbe bedeckt. Wäl der Versuche, die man am besten im Juni oder Juli ausführt, mul Bodenmaterial nach Bedürfnis (aber ja nicht zu stark) besprengt we 3 Töpfe werden mit je 6 Samen von Tropaeolum majus, 2 mit Phaseolussamen, 2 mit Cucurbita und 2 mit Triticum beschickt. Töpfe für die Lichtkulturen stellt man im Freien im lichten Sch von Gebüsch oder Bäumen unter großen Glasglocken auf. Steigerun Lichtwirkung wird durch Unterlegen eines Bogens weißen Papieres dem die Kulturgefäße stehen, erzielt. Die Dunkelkulturen finden neben den Lichtkulturen unter großen Zinkblechrezipienten Platz. dritte mit Tropaeolum beschickte Topf wird unter eine Glasglocke ge die außen mit durchfettetem Seidenpapier überzogen ist und dann mit einem schwarzen Tuch bedeckt wird, so daß das Licht nur von Seite her und sehr gedämpft auf die Pflanzen einwirken kann. Verlauf von ca. 14 Tagen erhalten wir z. B. folgende Resultate Tropaeolum (Mittelwerte aus mehreren Messungen):

	Länge der Stengel mm	Breite der Blätter mm
Dunkelpflanzen	211	11
Lichtpflanzen	37	35
Pflanzen im gedämpften Licht	77	16

Die Stengel der Lichtpflanzen von Tropaeolum sind meist von größerem Durchmesser als diejenigen der Dunkelpflanzen.

Cucurbita produziert bei Lichtzutritt mehrfach kürzere Hypokotyle, aber weit größere Kotyledonen als im Finstern.

Im Mittel ist das erste Laubblatt bei den Dunkelpflanzen des Weizens länger, aber schmäler als bei den Lichtpflanzen. Auch der Mais ist ein sehr geeignetes Untersuchungsobjekt.

Bei Phaseolus sind die Epikotyle im Dunkeln länger oder etwa ebenso lang wie im Licht geworden. Die Stiele der Primordialblätter haben im Dunkeln bedeutendere Länge als im Licht erreicht. Die Spreiten sind bei den Dunkelpflanzen kleiner als bei den Lichtpflanzen.

c) Sinapis und Raphanus. Gute Objekte zur Konstatierung der Ueberverlängerung etiolierter Stengelteile und des Kleinbleibens im Dunkeln ausgebildeter Blätter stellen auch die Keimpflanzen von Sinapis alba und Raphanus dar, die man in Blumentöpfen zur Entwickelung bringt. Selbst wenn man die mit den Samen beschickten Töpfe im Dezember am Fenster unter einer Glasglocke, resp. einem Zinkblechcylinder aufstellt, lassen sich die Differenzen zwischen den Licht- und Dunkelpflanzen, falls das Wetter nicht zu trübe ist, deutlich konstatieren. Im Winter erreicht man zumal gute Erfolge, wenn man die Pflanzen im Gewächshaus kultiviert, wo die unter einer Glasglocke stehenden Lichtpflanzen auch von oben her beleuchtet werden. Weitaus besser gelingen dio Versuche natürlich im Sommer.

d) Etiolement und Assimilation. Das Etiolement ist nicht direkte Folge mangelnder Assimilation, denn kultiviert man Pflanzen bei Lichtzutritt, schließt aber die Assimilation aus, so ist ihre Formgestaltung dennoch eine normale. Wir füllen zwei kleine Blumentöpfe mit grobkörnigem Sand an und legen in jeden 6 Samen von Raphanus sativus von möglichst gleicher Größe ein. Der Sand wird mit verdünnter Nährlösung durchfeuchtet. Ein Topf wird unter einer Glasglocke ins Dunkle gestellt; der andere gelangt in den in Fig. 17 dargestellten Apparat, um die Untersuchungsobjekte bei Lichtzutritt (direktes Sonnenlicht ist möglichst auszuschließen) in kohlensäurefreier Atmosphäre zu kultivieren. Nach 10 Tagen ernten wir die Keimpflänzchen. Messungen ergeben, daß die Hypokotyle der Dunkelpflanzen etwa dreimal so lang wie diejenigen der Lichtpflanzen, die Spreiten der Kotyledonen der ersteren aber erheblich kleiner als jene der letzteren sind. Das Frischgewicht der Hypokotyle der Dunkelpflanzen kann um das Mehrfache größer sein als dasjenige der Lichtpflanzen. Will man Beobachtungen über den prozentisch höheren Wassergehalt der Hypokotyle und den prozentisch geringeren Wassergehalt der Kotyledonen der Dunkelpflanzen etc. ausführen, so ist Näheres in Godlewskis Arbeit (Botan. Zeitung, 1879) zu vergleichen.

196. Ursachen des Etiolements der Internodien.

In den Zellen überverlängerter Stengelteile ist vielleicht in manchen Fällen eine größere Menge osmotisch leistungsfähiger Stoffe als in denjenigen der normalen Organe vorhanden. Vor allen Dingen sind die Membranen der Zellen etiolierter Stengel aber nicht so stark verdickt und daher dehnbarer als die Zellhäute am Licht kultivierter Gewächse, so daß unter dem Einfluß des Turgors eine stärkere Streckung der Organe im Finstern erfolgen kann. Wenn man Querschnitte normaler und etiolierter Epikotyle von Phaseolus untersucht, so läßt sich in der Tat

z. B. die geringere Membrandicke der Holzelemente der letzteren konstatieren.

Mit der größeren Dehnbarkeit etiolierter Internodien hängt auch die bedeutende Länge ihrer Zellen zusammen. Man stellt Längsschnitte aus dem Marke des mittleren Teiles normaler und etiolierter Epikotyle von Phaseolus her, um die Länge einer Anzahl von Zellen mikroskopisch zu messen. Die Markzellen des normalen Stengelteiles sind etwa 0,2 mm lang, diejenigen des etiolierten 2—3mal länger. Messungen nach bekannter Methode (vergl. STRASBURGERS Praktikum) mit Hülfe des Okular-Mikrometers.

197. Ursachen des Etiolements der Blätter.

a) Intermittierende Beleuchtung. Wir säen einige Samen von Phaseolus multiflorus aus. Die Blumentöpfe stehen zunächst unter Zinkrezipienten, und ein Topf bleibt überhaupt während des ganzen Versuchs im Dunkeln (*a*). *b* dagegen wird, bald nachdem die Keimpflanzen über die Erde hervortreten, täglich ca. 2 Stunden lang etwas entfernt von einem nach Norden gelegenen Fenster schwachem diffusen Tageslicht ausgesetzt, verweilt im übrigen aber auch im Finstern. Im Laufe von 6 Tagen treten folgende Erscheinungen an den Untersuchungsobjekten immer deutlicher hervor (BATALIN). Die Primordialblätter von *a* gewinnen nur geringe Breite und Länge; sie behalten auch ihre muschelige Gestalt. Die Blätter von *b* werden viel größer als diejenigen von *a*, breiten sich aus, aber ergrünen, da die täglich erfolgende Beleuchtung nur schwach ist, nur wenig. Assimilation ist so gut wie ausgeschlossen; das Licht schafft indessen die Bedingung für ein ausgiebiges Wachstum der Blattspreiten.

b) Teilweise Verdunkelung einer Pflanze. Wir lassen uns einen 150 cm hohen, innen und außen mit mattschwarzem Papier überzogenen, aus dicker Pappe hergestellten Kasten anfertigen. Der Boden des Kastens hat eine Länge von 27, eine Breite von 17 cm. Die vordere Wand des Kastens ist dicht über dem Boden mit einer Oeffnung von ca. 3 cm Durchmesser versehen. Die hintere Wand wird durch eine oben, unten und an einer Längsseite mit übergreifendem Rand versehene Tür gebildet. Wir kultivieren Phaseolus in einem großen Blumentopfe und bieten den Pflanzen dünne Stäbe als Stützen dar. Haben die Untersuchungsobjekte einige (3—4) dreizählige Blätter gebildet, so führen wir den Gipfel eines kräftigen Exemplars (die Pflanzen stehen im Freien und empfangen recht intensives Licht) in die erwähnte Oeffnung am Grunde des auf der Fensterbank am geöffneten Fenster aufgestellten Kastens ein, befestigen den Gipfel hier lichtdicht mittelst Watte und bringen einen mit feuchter Erde angefüllten Blumentopf, in dem ein langer, dünner Stab befestigt ist, in den Apparat. Im Lauf von 8 Tagen hat der im Dunkeln kräftig fortwachsende Bohnenstengel mehrere Windungen um den Stab gebildet. Nun schneiden wir das Ende des Stengels ab und entfernen auch die etiolierten Blätter bis auf das oberste. Dies Blatt ist zunächst noch recht klein, aber unter den im Experiment nunmehr gebotenen Bedingungen entwickelt es sich trotz des Lichtausschlusses in ca. 8 Tagen zu erheblicher Größe. Jetzt z. B. Spreite des mittleren Blättchens 42 mm lang. Beide Hälften jeder Spreite völlig zusammengefaltet, was wohl für genügenden Lichtabschluß spricht. Für absoluten Lichtabschluß in meinem Experiment kann ich nicht garantieren.

198. Einfluß farbigen Lichtes auf das Wachstum.

Zwei Blumentöpfe, in denen Samen von Cucurbita Pepo ausgelegt worden sind, werden unter Glasglocken dem gemischten gelben, resp. blauem Licht ausgesetzt. (Vergl. unter 14 e. Es ist zu empfehlen, für den Versuch im blauen Licht die Glocke von SCHOTT zu verwenden.) Wir führen die Experimente im Juli aus und stellen die auf weißer Unterlage ruhenden Apparate im Freien im lichten Schatten von Gebüsch oder Bäumen auf. Die Hypokotyle erreichen im gemischten gelben Licht größere Länge als im blauen Licht. Unter dem Einfluß des letzteren breiten sich die Kotyledonen ziemlich weit aus, während sie im gelben Licht mehr geschlossen bleiben.

199. Der retardierende Einfluß des Lichtes auf das Wachstum.

Samen von Sinapis alba werden in, sehr locker in einem Blumentopf zusammengehäuften, feuchten Sägespänen zur Keimung gebracht. Wenn die Keimwurzeln ca. 20 mm Länge erreicht haben, bringen wir auf 20 derselben, die sehr gleichmäßig entwickelt sein müssen, 15 mm entfernt von der Spitze Tuschestriche als Marken an. Wir füllen nun 2 Bechergläser mit Regenwasser an, bedecken dieselben mit Holzplatten, welche jede mit 10 kleinen Oeffnungen versehen sind, und befestigen die Sinapiskeimlinge mittelst Watte in den Löchern, so daß ihre Wurzeln in das Wasser eintauchen. Das eine Glas gelangt unter einer Glasglocke auf den Klinostaten (vergl. unter 216) und wird hier dicht hinter einem nach Norden gelegenen Fenster auf horizontaler Ebene langsam gedreht. Das andere Glas, ebenfalls mit Glasglocke bedeckt, findet Aufstellung unter einem Zinkblechrezipienten. Man stellt die Experimente am besten im Juli bei hoher Sommertemperatur und an einem recht hellen Tage an. DORP-PETERSEN aus Kopenhagen fand bei Versuchen, die er in meinem Praktikum ausführte, daß der Zuwachs der Wurzeln der Lichtpflanzen im Mittel nach ca. 7 Stunden um ca. 33 Proz. geringer war als derjenige der Wurzeln der Dunkelpflanzen. (Ueber Bestimmung der täglichen Periode des Wachstums vergl. die ausführlichen Angaben von SACHS in Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1.)

200. Wachstum im Freien.

Wir stellen im Mai Beobachtungen über das Wachstum junger Hopfensprosse im Freien an. Morgens 8 Uhr, mittags 2 Uhr, abends 8 Uhr wird die Lufttemperatur an einem im Schatten in der Nähe der Hopfenpflanze aufgehängten Thermometer abgelesen. Die Messungen über den Zuwachs anfänglich ca. 30 mm langer Internodien (die Ausdehnung derselben ist durch die Blätter hinreichend deutlich markiert) müssen morgens und abends 8 Uhr vorgenommen werden. Wenn am Tage hohe, nachts niedrige Temperatur herrscht, so ist der Zuwachs am Tage trotz der Beleuchtung dennoch viel ansehnlicher als in der Nacht, z. B. 8 Uhr abends bis 8 Uhr morgens 5, 8 Uhr morgens bis 8 Uhr abends 36, 8 Uhr abends bis 8 Uhr morgens 9 mm. Es kann also in der Natur die das Wachstum retardierend beeinflussende Lichtwirkung durch Temperatureinflüsse völlig unkenntlich gemacht werden.

Fünfter Abschnitt.

Die Reizbewegungen.

I. Bewegungen des von der Zellhaut umschlossenen Protoplasmas und freie Bewegungen verschiedener Organismen.

Das Studium der Reizbewegungen hat ganz besonders zur Vertiefung unserer Anschauungen über Reizvorgänge im pflanzlichen Organismus beigetragen. Deshalb ist hier der Ort, einige Erörterungen über Reizvorgänge im allgemeinen einzuschalten. (Vergl. PFEFFER, Handbuch, 2. Aufl., Bd. 1 u. 2; DARWIN, Bewegungsvermögeu der Pflanzen, 1881; ROTHERT, COHNS Beiträge zur Biologie der Pflanzen, Bd. 7; CZAPEK, Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 27 u. 32; NĚMEC, ebendaselbst, Bd. 36; NOLL, Ber. d. Deutschen botan. Gesellschaft, Bd. 20; HABERLANDT, Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 38.)

Reizvorgänge sind, wie wir mit PFEFFER betonen, unter Vermittelung des lebenstätigen Protoplasmas stattfindende Auslösungsprozesse. Wir haben zwischen Reizursache und Reizwirkung oder Reizerfolg zu unterscheiden. Die Reizursache kann eine innere, d. h. in der Pflanze selbst liegende und dann häufig im Laufe der Entwickelung sich verändernde, oder eine äußere (induzierte) sein. (Spontane oder autonome und paratonische oder induzierte Reizvorgänge.) Der Reizerfolg äußert sich keineswegs nur in Bewegungen, sondern sehr allgemein in mannigfaltiger anderer Art, z. B. Atmungssteigerung, Veränderung der Sekretionstätigkeit oder des Turgors der Zellen, Förderung des Dickenwachstums der Membranen etc. Reizursache und Reizerfolg repräsentieren das Anfangs- und Endglied in der Kette eines jeden Reizvorganges.

Der Reizerfolg ist keineswegs allein bestimmt durch Qualität und Intensität der Reizursache, sondern vor allen Dingen, da jeder Reizvorgang ein Auslösungsvorgang ist, durch die Natur (Struktur und chemische Konstitution) des Substrates (Protoplasma), auf welches die Reizursache einwirkt. Daher kann die gleiche Reizursache, auf verschiedene Organe oder auf ein Organ in verschiedenen Stadien der Entwickelung desselben einwirkend, auch ganz verschiedene Reizerfolge erzielen. Zwischen auslösender Ursache und Reizerfolg besteht qualitative und quantitative Disproportionalität (SACHS).

Soll ein Reizerfolg erzielt werden, so muß die Reizursache mit gewisser Intensität wirken; sie muß den Schwellenwert erreichen. Weiter ist auch für einige Reizvorgänge bei Pflanzen konstatiert, daß für das Verhältnis zwischen Reizursache und Reaktion die im WEBERschen Gesetz ausgedrückten Beziehungen gelten: „Während der Reiz in geometrischer Progression zunimmt, wächst die Reaktion in arithmetischer Progression."

In vielen Fällen reagieren die Organe der Pflanzen, z. B. Stengel, Blattgelenke von Mimosa, ebenso wie diejenigen der Tiere vorwiegend in einer bestimmten Art auf die mannigfaltigsten Reizursachen, so daß wir also berechtigt sind, auch bei den Pflanzenteilen von „spezifischen Energien" zu reden.

Sehr wenig orientiert sind wir heute noch über die lange Kette von Vorgängen, die zwischen Reizursache und Reizerfolg liegt. Wenn

eizursache auf eine Zelle oder ein Organ einwirkt, so wird sie st perzipiert. Jene Zeit, welche die Wirksamkeit der Reizursache tens dauern muß, um nachträglich zu einer Aktion zu führen, ist räsentationszeit. Die geotropische Präsentationszeit beträgt für urzeln von Pisum sativum 20 Minuten, für solche von Vicia Faba nuten bei 25° C, indem diese Objekte erst dann auf dem Klino- geotropische Krümmungen ausführen, wenn sie vorher ohne zu n mindestens 20, resp. 50 Minuten in horizontaler Lage verweilten. K.) Berücksichtigt man das Vorhandensein der Präsentationszeit nige andere Momente, so wird man auch das Auftreten sogenannter chwirkungen begreifen. Die Reaktionszeit ist durch das Zeit- ll zwischen Beginn der Wirkung des Reizes und dem ersten arwerden der Reizwirkung bemessen. 30 Minuten ist z. B. die pische Reaktionszeit für Wurzeln mit 20 Minuten Präsentationszeit. e Temperatur ebenso wie Chloroformwirkung verlängern die onszeit bedeutend. (Lähmende Einflüsse.)

t der Reiz perzipiert, so tritt Reizung (Erregung) des Protoplasmas, ließlich Reizerfolge zu stande bringt, ein. In manchen Fällen ist gan in seiner ganzen Ausdehnung perzeptionsfähig und zugleich fähig (heliotropisch reagierende Keimstengel von Tropaeolum minus). nzen Organ finden direkte Reizungen statt. Ein zweiter Fall ist (vergl. über dies alles Rothert), daß ein Teil des Organs vor ingen perzeptionsfähig, ein anderer aber reizbar und zu Aktionen et ist. So verhält sich die einseitig beleuchtete Plumula von sativa. Die Spitze perzipiert den Lichtreiz und krümmt sich. verhält sich der tiefer liegende Teil der Plumula; ihm wird aber em noch ein Teil des in der Spitze perzipierten Reizes übermittelt kte Reizung), so daß direkte und indirekte Reizung sich summieren st daraus die volle Krümmung resultiert. Den dritten Fall finden alisiert bei geotropischen Krümmungen der Wurzeln und heliotro- n der Panicumplumula. Hier ist Sonderung einer perzipierenden des Pflanzenteils (Wurzelspitze, als Sinnesorgan tätig) und einer szone oder motorisch tätigen Region (Wachstumszone unter der) eingetreten. Letztere, an sich nicht perzeptionsfähig, wird nur t gereizt. Es ist ein freilich sehr einfacher Reflexbogen gegeben. tionsvermögen und zu Aktionen führende Reizbarkeit müssen auch, hrt der dritte Fall klar, als verschiedene Eigenschaften des Proto- s angesprochen werden.

ei jeder indirekten Reizung muß natürlich Reizleitung oder Reiz- ission mitwirken. Bei Mimosa pudica erfolgt die Reizleitung durch usgleich hydrostatischer Druckdifferenzen in den Zellen eines be- en reizleitenden Systems. Dasselbe gehört dem Weichbast der ündel an und wird von schlauchförmigen Elementen gebildet, die gsreihen angeordnet sind (Haberlandt). Schnelligkeit der Reiz- anzung bei Mimosa z. B. 6—8 mm in der Sekunde.

ei dem Zustandekommen traumatropischer und geotropischer nungen spielen nach Němec besondere reizleitende Plasmagebilde ichtige Rolle. Die geotropischen Reize werden bei vielen Wurzeln len Untersuchungsresultaten des zuletzt genannten Forschers, denen ber allerdings von einigen Seiten Bedenken geltend gemacht n, von besonderen Zellenkomplexen (Columella) der Wurzelhaube iert. Es ist ein Organ gegeben, das mit dem statischen Organ letazoen verglichen werden kann, und in welchem z. B. Stärke-

körner ähnlich wie Statolithen wirken. Lageänderungen der Pflanzenteile rufen zunächst auch Lageänderungen der Stärkekörner hervor. Infolge der veränderten Druckverhältnisse, denen nunmehr die reizperzipierenden Plasmamassen (nach NOLL die Hautschichten) ausgesetzt sind, wird der Gravitationsreiz eben von diesen perzipiert. Die Reiztransmission von der Wurzelspitze bis zur motorisch tätigen Wurzelregion vermitteln eigentümliche, dem Plasma eingebettete Fibrillenbündel, die in gewisser Beziehung den Nerven der Tiere vergleichbar sind. Bei Stengeln funktioniert die Stärkescheide als statisches Organ; die Stärkekörner in deren Zellen verhalten sich auch hier ähnlich wie Statolithen (HABERLANDT).

Wenn eine Sonderung perzipierender und motorisch tätiger Elemente im Pflanzenkörper gegeben ist, so können wir die ersteren mit Recht als Sinneszellen und den ganzen Komplex derselben als Sinnesorgan bezeichnen. Ein solches stellt die Columella der Wurzelspitze dar. Ebenso ist an einem Teil der Oberseite der Filamente von Berberis ein den Stoßreiz perzipierendes Sinnesorgan in Gestalt papillös vorgewölbter, plasmareicher Epidermiszellen vorhanden, während das tiefer liegende Parenchym die Bewegungszone darstellt. Das Sinnesorgan mancher Cucurbitaceenranken stellt einen Komplex von Epidermiszellen dar, die mit „Fühltüpfeln" versehen sind, und nur auf der reizbaren Seite im oberen Teil des Organs angetroffen werden. Sehr hoch differenzierte Sinnesorgane hat das auf Stoßreiz reagierende Blatt von Dionaea in Gestalt der „Fühlborsten". Dieselben bestehen aus einem oberen, aus langgestreckten, verholzten Zellen zusammengesetzten Teil, der nur als „Stimulator" den Reiz mechanisch auf eine tiefere Zone der Borste, das eigentliche Sinnesorgan, überträgt. Dieses stellt einen eingeschnürten, gelenkartig gestalteten Zellenkomplex dar. Noch tiefer folgt das Postament, mit dem die Borste der Spreite aufsitzt. Die bei Mimosa pudica besonders auf der Gelenkunterseite entwickelten Borsten (Emergenzbildungen) funktionieren wohl nur als Stimulatoren, um den Reiz mechanisch auf das perzipierende und zugleich motorisch tätige Parenchym des Gelenkes zu übertragen. (Das hier Gesagte nach HABERLANDT, Sinnesorgane im Pflanzenreich, Leipzig 1901.)

1) Protoplasmabewegungen. Das Protoplasma mancher Pflanzenzellen (Nitella, Haare der Filamente von Tradescantia, Haare von Cucurbita) zeigt, auch wenn diese Zellen völlig intakt sind, Bewegungserscheinungen (primäre Plasmabewegungen). In vielen Zellen ist das Plasma in Ruhe; es treten aber Bewegungen (sekundäre Plasmabewegungen) auf, wenn die Zellen isoliert oder die Gewebe verwundet werden.

Die Plasmabewegungen können zunächst als Rotation und als Zirkulation unterschieden werden. Bei der Rotation bewegt sich das wandständige Plasma gleich einem in sich geschlossenen Strom; nur die Hautschicht und das Plasma des Indifferenzstreifens (Nitella) sind in Ruhe. Bei der Zirkulation sind in den einzelnen Teilen des Plasmas nach ganz verschiedenen Richtungen hin verlaufende Strömungen vorhanden.

Mangel freien Sauerstoffs hebt die Protoplasmabewegung auf (Asphyxie). Solches tritt aber nur bei Aëroben, nicht bei Anaëroben ein. Bei niederer Temperatur (z. B. 10° C bei Haaren von Cucurbita) erlischt die Plasmabewegung stets. Das Plasma geht in den Zustand der Kältestarre über. Mit steigender Temperatur wird die Plasmabewegung lebhafter. Das Temperaturoptimum liegt für die Zirkulation in den

Cucurbitahaaren bei 35° C; bei 47° C tritt bei diesen Objekten Wärmestarre ein; niedere Temperatur ruft die Plasmabewegung wieder hervor.

Ueber die Ursachen, welche die Protoplasmabewegungen bedingen, sind wir noch wenig unterrichtet. Es kommen hier sicher sehr viele verschiedenartige Momente in Betracht, unter denen Veränderungen der Oberflächenspannungen am Plasma, die z. B. durch Zertrümmerung lebendiger Eiweißmoleküle im Stoffwechsel zu stande kommen können, und welche Umsetzungen von potentieller Energie in Bewegungsenergie bedingen, eine wichtige Rolle spielen dürften. (Sachs, Flora, 1864; Hauptfleisch Pringsheims Jahrbüchr f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 24; Strasburger. Das botanische Praktikum; Berthold, Studien über Protoplasmamechanik, 1886.)

In den mit Zellhaut versehenen Zellen kann das Plasma durch äußere Reize verschiedenartige Umlagerung erfahren. Traumatische Reize bedingen z. B. in den noch intakten Zellen Plasmaansammlung und Gruppierung des Kernes an der der Wundfläche zugekehrten Zellwand (Traumataxie). (Němec.)

2) Bewegung der Chlorophyllkörper. Wenn grüne Gewebe längere Zeit im Dunkeln verweilen, so wird den Chlorophyllkörpern vielfach durch Umlagerungen des Cytoplasmas eine ganz bestimmte Stellung in den Zellen gegeben. Werden nun solche Objekte, soweit sie noch nicht dunkelstarr sind, sondern sich noch im Zustande des Phototonus befinden, oder überhaupt manche grüne Pflanzenteile ins diffuse Licht gebracht, dann sammeln sich die Chlorophyllkörper (auch hier unter Vermittelung von Lagerungsänderungen des Cytoplasmas) an den Vorder- und Hinterwänden der Zellhaut an. Sie verharren daselbst in Flächenstellung und sind damit befähigt, das schwache Licht möglichst auszunutzen. Im direkten Sonnenlicht sammeln sich die Chlorophyllkörper dagegen in vielen Zellen, indem sie zugleich Profilstellung annehmen, an deren Seitenwänden an; sie sind dann vor schädlichen Folgen zu starker Erwärmung und Belichtung in hohem Grade geschützt. (Stahl, Botan. Zeitung, 1880.)

3) Bewegungen verschiedener Organismen. Viele pflanzliche Zellen sind befähigt, von einem Orte im Raum zu einem anderen zu wandern. So verhalten sich Diatomeen, Desmidiaceen, Bakterien, Plasmodien, Spermatozoiden, Algenschwärmer. Diese freien Ortsbewegungen der Zellen können durch äußere Umstände in der mannigfaltigsten Art beeinflußt werden. Zahlreiche Algenschwärmer besitzen phototaktische Eigenschaften. Sie suchen, wenn sie beleuchtet werden (die stärker brechbaren Strahlen sind hier die wirksamen), diejenigen Orte auf, an denen die für ihr Leben jeweiligst günstigste Lichtintensität geboten wird. Ob die Schwärmer Orte geringerer oder höherer Lichtintensität aufsuchen, hängt ganz von ihrer durch innere Ursachen bestimmten momentanen Lichtstimmung ab, die übrigens auch im Entwickelungsgange eines bestimmten Organismus wechseln kann. (Strasburger, Wirkung der Wärme und des Lichtes auf Schwärmsporen, 1878.) Algenschwärmer reagieren auch auf den Reiz, der durch Gravitation sowie verschiedene Sauerstoffspannung im Medium zur Geltung gebracht wird, sie sind geotaktisch und aërotaktisch reizbar.

Bakterien und Spermatozoiden sind chemotaktisch reizbar, ihre Bewegungsrichtung wird durch die Gegenwart bestimmter Stoffe beeinflußt. Dies kann natürlich nur eintreten, wenn den Zellen Gelegenheit geboten wird, aus einer Flüssigkeit in eine solche von anderer Beschaffenheit

überzugehen. Auf Bacterium termo wirken Fleischextrakt- und Chlorkaliumlösungen von gewisser Konzentration anziehend, Zitronensäurelösung dagegen abstoßend. PFEFFER (Untersuchungen aus dem botanischen Institut in Tübingen, Bd. 1 und 2) fand ebenfalls, daß Aepfelsäure ein ausgezeichnetes Anlockungsmittel für die Spermatozoiden der Farne, Rohrzucker aber ein solches für die Spermatozoiden der Laubmoose darstellt. Diese Stoffe finden sich auch im Schleim, den die Archegonien der betreffenden Pflanzen ausscheiden, und die Samenfäden werden unter Vermittelung der genannten Körper zu den weiblichen Sexualapparaten geleitet. Bei den Lebermoosen sind in diesem Fall Proteinstoffe wirksam (LIDFORSS).

Galvanotaxie finden wir besonders ausgeprägt bei Infusorien. Paramaecium aurelia hat z. B., wenn man durch die Flüssigkeit, in welcher sich der Organismus befindet, einen elektrischen Strom schickt, das Bestreben, sich nach der negativen Elektrode (Kathode) hin zu bewegen. (VERWORN, Archiv f. d. gesamte Physiologie, Bd. 45 u. 46.)

Sehr eigenartig und in mannigfaltiger Weise wirken äußere Umstände auf die Bewegungsrichtung der Plasmodien von Fuligo varians (Loheblüte) ein, die bekanntlich in der Gerberlohe leben und hier unter Umständen auch Sklerotien bilden. Solche Reaktionsfähigkeit ist für den Organismus von hoher biologischer Bedeutung. Infolge ihres positiv hydrotaktischen und negativ phototaktischen Verhaltens ist es den Plasmodien leicht, an die ihnen zusagenden feuchten, dunklen Orte im Substrat zu gelangen. Durch ihre Thermotaxie können sie zumal im Herbst, wenn die Oberfläche der Lohe abgekühlt wird, in tiefere Schichten derselben eindringen. Geotaktisch reagieren die Plasmodien nicht, wohl aber ausgesprochen positiv rheotaktisch und ferner auch chemotaktisch. Gehen die Plasmodien dem Fruktifikationszustande entgegen, dann tritt eine gewisse Stimmungsänderung des Organismus ein. An die Stelle der bisherigen positiven tritt negative Hydrotaxie, und damit das Streben des Plasmas, an die Substratoberfläche zu gelangen, um sich zur Fruchtkörperbildung anzuschicken. (STAHL, Botan. Zeitung, 1884, Ueber Bewegung d. Diatomeen etc. vergl. PFEFFER, Physiologie, Bd. 2.)

201. Zirkulation und Rotation des Protoplasmas.

a) Tradescantia und Cucurbita. Aus einer im Oeffnen begriffenen oder eben geöffneten Blüte von Tradescantia virginica entnehmen wir mit Hülfe einer Pincette einige an den Filamenten sitzende Haare, legen dieselben in den Wassertropfen eines Objektträgers, bedecken mit Deckglas und untersuchen mikroskopisch. Die Zirkulation des Protoplasmas ist in den Plasmasträngen und Fäden leicht zu sehen. Es kommt nicht selten vor, daß in einem Strange zwei entgegengesetzt gerichtete Ströme verlaufen. Wir entwerfen auch die Zeichnung einer Zelle und werden nach Verlauf einiger Zeit beobachten, daß im Protoplasmakörper erhebliche Umlagerungen zur Geltung kommen; einige Stränge werden dünner, andere verschwinden völlig, oder es entstehen auch neue Stränge etc. Sehr gute Objekte zum Studium der Protoplasmazirkulation sind auch die Haare von Cucurbita Pepo, welche wir jungen Blütenknospen, jungen Sprossen oder Blattstielen dieser Pflanze entnehmen.

b) Elodea. Einige Blätter aus der Knospe von Elodea canadensis, eventuell auch völlig ausgewachsene Blätter dieser Pflanze werden in den Wassertropfen des Objektträgers gelegt und mit Deckglas bedeckt. Die Protoplasmabewegung in den Zellen, welche bald mehr den Charakter der Zirkulation, bald mehr denjenigen der Rotation trägt, ist zunächst

gewöhnlich sehr schwach, wird aber nach Verlauf einiger Zeit ($^1/_2$ bis 1 Stunde) meist energischer, und reißt dann auch viele Chlorophyllkörper mit fort. Einige ausgewachsene Elodeablätter werden zerschnitten; man legt die Stücke in Wasser und setzt sie der Sonne aus. Untersuchen wir die Blattstücke später, so beobachten wir recht lebhafte Plasmabewegungen in ihren Zellen (sekundäre Plasmabewegung).

c) Nitella. Nitella ist eine Alge, die in kalkarmen Gewässern vorkommt. Wir benutzen junge Internodien zu mikroskopischen Beobachtungen. Ohne hier näher auf die bekannten Eigentümlichkeiten der langgestreckten Nitellazellen einzugehen, sei nur bemerkt, daß die besonders mächtig entwickelte Hautschicht des Protoplasmas derselben, und ebenso die dieser Hautschicht anliegenden Chlorophyllkörper bewegungslos sind; dagegen ist in der Körnerschicht des Protoplasmas sehr lebhafte Bewegung wahrzunehmen. Wir haben es hier mit typischer Rotation zu tun, indem ein in sich zurücklaufender Strom vorhanden ist. Durch den Indifferenzstreifen wird der aufsteigende von dem absteigenden Teil des Stromes getrennt.

202. Starrezustände des Protoplasmas.

a) Kältestarre. Sprosse von Cucurbita Pepo, die mit der Basis in Wasser tauchen, verweilen etwa 4 Stunden in einem Raum von etwa 9° C. Dann entnehmen wir einem jungen Blattstiel einen Epidermisstreifen, um denselben zu untersuchen. In den Haaren ist keine Protoplasmabewegung wahrzunehmen. Untersucht man Epidermisstreifen von Sprossen, die längere Zeit bei 20 oder 25° C verweilt haben, so ist die Bewegung in den Haaren sehr deutlich.

b) Wärmestarre. Wir merken uns einige Haare eines Epidermisstreifens von Cucurbita, in denen wir Protoplasmabewegung konstatiert haben, genau. Diesen Oberhautstreifen faßt man mit einer Pincette und hält ihn dicht neben die Kugel eines Thermometers, das in Wasser eintaucht, welches auf 47° C erwärmt worden ist. Nach 1–2 Minuten langer Einwirkung des warmen Wassers werden die Haare wieder untersucht. Zirkulation des Protoplasmas ist nicht vorhanden. Das Plasma geht aus dem Starrezustand bei gewöhnlicher Temperatur aber wieder in den Bewegungszustand über. Wird ein Epidermisstreifen von Cucurbita Pepo im Wasser 1 Minute lang 50° C ausgesetzt, so stirbt das Protoplasma unter Zusammenballung zu Klumpen ab.

203. Asphyxie des Protoplasmas.

Handelt es sich um die Konstatierung der wichtigen Tatsache, daß Mangel freien Sauerstoffs die Protoplasmabewegung aufhebt, so experimentiert man sehr bequem unter Benutzung einer vom Mechaniker Albrecht in Tübingen im Preise von 15 M. gelieferten Gaskammer. (Vergl. Fig. 118.) Dieselbe hat etwa 7 cm Länge, 4,5 cm Breite und 5 mm Höhe. Sie ist aus Metall gearbeitet. In den unteren Boden ist eine ziemlich große Glasplatte luftdicht eingekittet; der obere Boden besitzt ein kreisrundes Loch. Hier wird das Deckglas aufgelegt, so daß sich das Untersuchungsobjekt im hängenden Tropfen im Innern der Gaskammer befindet. Der Boden derselben wird mit einer dünnen Schicht

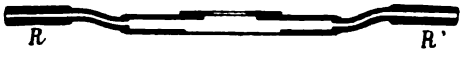


Fig. 118. Gaskammer zum Gebrauch bei mikroskopischen Untersuchungen, im Durchschnitt dargestellt.

ausgekochten Wassers benetzt, um das Objekt vor Austrocknung zu schützen. Das Deckglas kann leicht mit Hülfe von Fett luftdicht aufgelegt werden. Die Röhren *R* und *R'* dienen zum Zu- und Ableiten des Gases. Das zu verwendende Wasserstoffgas wird im Kippschen Apparat (vergl. Fig. 85) aus arsenfreiem Zink und verdünnter Salzsäure entwickelt. Reinigung des Gases, indem man dasselbe durch Kalilauge und eine Lösung von Kaliumpermanganat leitet. Das Wasser, welches zur Herstellung der verdünnten Salzsäure sowie dieser Lösungen dient, wird zweckmäßig vor dem Gebrauch ausgekocht und in verschlossenen Gefäßen abgekühlt. Die Gaskammer findet ihren Platz auf dem Tisch des Mikroskops. Als Untersuchungsobjekte wählen wir z. B. Staubfadenhaare von Tradescantia oder Haare des jungen Blattstieles von Cucurbita Pepo. Bequem ist es auch, mit Infusorien zu experimentieren. Wir erhalten dieselben leicht, wenn wir Heu mit Wasser übergießen und etwa 8 Tage lang ruhig stehen lassen. In der Flüssigkeit sind dann meist viele Paramäcien, deren gestreckter Körper mit Cilien besetzt ist, vorhanden. Auch Vorticellen findet man. Sind die Untersuchungsobjekte (Haare oder Infusorien) in den hängenden Tropfen gebracht, und hat man das Vorhandensein von Bewegungserscheinungen konstatiert, so beginnt man sogleich mit dem Durchleiten des feuchten Wasserstoffes. Es ist auffällig, daß man oft lange Zeit (zuweilen mehrere Stunden lang) Gas durch den Apparat leiten muß, bevor die Bewegungen aufhören. Die Strömungen des Plasmas und ebenso die freien Ortsbewegungen der Organismen finden eben noch bei Gegenwart minimaler Sauerstoffmengen statt. Ist das Plasma endlich bewegungslos geworden, so kann der erzielte Zustand der Asphyxie durch Luftzutritt wieder aufgehoben werden.

204. Oberflächenspannungen als Ursache der Bewegungen lebender Körper.

a) Farbstoffe. Auf eine trockene Glasplatte, die auf einem Bogen weißen Papiers ruht, bringen wir mit Hülfe eines Glasstabes einige Tropfen nicht zu konzentrierter alkoholischer Fuchsin- oder Methylanilinviolett-Lösung. Die Tropfen breiten sich an ihrem Umfange nicht gleichmäßig auf der Glasplatte aus, sondern es bilden sich bald hier, bald dort Flüssigkeitsausstülpungen, und man wird unwillkürlich an amöboide Plasmabewegungen erinnert.

b) Versuch mit Kampfer. Kleine Kampferstückchen werden in destilliertes Wasser geworfen, mit dem eine vorher sorgfältig gereinigte Kristallisierschale gefüllt ist. Die Kampferstückchen geraten nun, indem sie sich ganz allmählich in dem Wasser auflösen, in sehr lebhafte, lange andauernde Bewegung. Bringen wir auf die Flüssigkeit, in welcher sich der Kampfer bewegt, mittelst eines Glasstabes etwas Olivenöl, so hört die Bewegung schnell auf. Das sich ausbreitende Oel erhöht nämlich die Oberflächenspannung der Flüssigkeit sehr bedeutend, und dadurch kommt die Sistierung der Bewegung zu stande.

c) Versuch mit Quecksilber. Sehr instruktiv ist der folgende Versuch (Quincke). In eine Kristallisierschale mit völlig ebenem Boden, die auf völlig horizontaler Unterlage steht, bringt man einen Quecksilbertropfen, übergießt ihn mit verdünnter HNO_3 (auf 100 ccm H_2O 5 ccm HNO_3) und legt einen Kristall von Kaliumbichromat in die Nähe des Quecksilbers. Alsbald gerät dieses infolge Aenderung der Verhältnisse der Oberflächenspannung des Metalls in Bewegung. Der Tropfen nähert sich dem Kaliumbichromat, wird lang ausgezogen, bildet Fort-

ätze wie eine Amöbe, kann sich teilen, kommt zur Ruhe und beginnt eine Bewegungen aufs neue.

205. Bewegungen der Chlorophyllkörper.

a) Makroskopisches. Ein Blättchen des Fiederblattes von Sambucus nigra (die Pflanze, der wir das Blatt entnehmen, muß sich im Schatten entwickelt haben) wird auf eine Glasplatte gelegt und derartig mit einem zweiten Blättchen bedeckt, daß einige Teile des ersteren unter dem letzteren hervorragen. Jetzt wird auf die Blätter eine zweite Glasplatte gelegt, und die Vorrichtung, indem man sie in geneigte Lage bringt, dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt. Untersucht man nach ca. 10 Minuten das untere Sambucusblatt, indem man es einfach gegen das Licht hält, dann findet man die nicht beschattet gewesenen Stellen desselben sehr durchscheinend und hellgrün aussehend, weil die Chlorophyllkörper hier an die Seitenwände der Zellen gewandert sind. Die durch das obere Blatt beschattet gewesenen Stellen des unteren Blattes erscheinen hingegen noch dunkelgrün, weil keine beträchtliche Umlagerung der Chlorophyllkörper in den Zellen stattgefunden hat. (Stahl.)

b) Mikroskopische Beobachtungen. Exemplare von Funaria hygrometrica oder Farnprothallien (letztere findet man leicht in Gewächshäusern, in denen Farne kultiviert werden) beläßt man einige Stunden im Dunkeln. Mikroskopische Untersuchung zeigt die Chlorophyllkörper in Dunkelstellung. Nun beleuchten wir die Rasen von Funaria oder die Prothallien von oben her mit diffusem Licht. Nach einigen Stunden Flächenstellung der Chlorophyllkörper an den Vorder- und Hinterwänden der Zellen. Die Objektträger mit den Funariablättern oder Prothallien werden nun direktem Sonnenlicht ausgesetzt. Wir sorgen dafür, daß die Außenseite des Deckglases stets reichlich benetzt bleibt. Nach einigen Minuten befinden sich die Körner freilich noch an ihrem alten Platz, aber sie erscheinen nicht mehr polygonal, sondern von kreisförmigem Umriß; es tritt das Bestreben der Chlorophyllkörner hervor, dem intensiven Licht eine geringe Oberfläche darzubieten. Nach ca. $^1/_2$—1 Stunde sind die Körner in Profilstellung an den Seitenwänden der Zellen zu finden. Beleuchtung mit diffusem Licht ruft die diesem angepaßte, schon erwähnte Gruppierung der Körner abermals hervor.

Exemplare von Lemna trisulca gelangen in flache, Wasser enthaltende Schalen. Die eine der Schalen wird diffusem, die andere direktem Sonnenlicht ausgesetzt. Nach 30 Minuten bringen wir gar nicht weiter präparierte Stücke des zarten Lemnalaubes in den Wassertropfen eines Objektträgers, legen ein Deckglas auf und untersuchen mikroskopisch. Das Gewebe des dem diffusen Licht ausgesetzt gewesenen Laubes erscheint ziemlich gleichmäßig grün gefärbt, weil die Chlorophyllkörper an Vorder- und Rückwänden der Zellen in Flächenstellung angeordnet sind. Im Gewebe, welches intensivem Licht exponiert worden war, finden sich die Körner fast nur an den Seitenwänden der Zellen, und zwar in Profilstellung.

206. Bewegungen der Schwärmsporen.

a) Experimente mit Euglena viridis. Dieser zu den Flagellaten gehörende Organismus, der sich aber in mehr als einer physiologischen Beziehung den Algen anschließt, besitzt eine spindelförmige Körpergestalt. Kern und Chlorophyllkörper sind vorhanden. Am vorderen Körperende, das eine lange Cilie trägt, sind Vakuolen und ein

roter Augenfleck zu sehen. Unser Untersuchungsmaterial findet sich in stehenden Gewässern, Straßenrinnen und Dorflachen. Um recht lebenskräftiges Untersuchungsmaterial zu gewinnen, bringen wir die grünen Euglenamassen zunächst auf die Oberfläche von Torfstücken, welche bis zur Hälfte in gewöhnliche Nährstofflösung eintauchen. Haben die Kulturen einige Tage lang vor einem nach Süden gelegenen Fenster gestanden, so werden die Torfstücke in eine Porzellanschale gelegt, mit Brunnenwasser übergossen und einige Stunden unter Wasser belassen. In dieser Zeit sammeln sich zahlreiche Euglenaschwärmer in dem Wasser an.

Wir tauchen eine Glasröhre in das die Euglenen enthaltende Wasser ein und bringen eine Anzahl Schwärmer mit Hülfe der Röhre in den hängenden Wassertropfen einer kleinen, feuchten Kammer (Herstellung derselben vergl. unter 184). Die mikroskopische Untersuchung lehrt, daß die Schwärmer bei Beginn unseres Versuches fast gleichmäßig im hängenden Tropfen verteilt sind. Ihr phototaktisches Verhalten tritt aber sehr bald deutlich hervor, indem sich fast alle Schwärmer, zumal wenn wir das vom Spiegel reflektierte Licht abblenden, schnell an dem, nach dem Fenster, also der Lichtquelle, zugewandten Tropfenrande ansammeln. Drehen wir den Objektträger um 180°, so geraten die Schwärmer wieder in lebhafte Bewegung und suchen aufs neue den der Lichtquelle zugekehrten Tropfenrand zu erreichen. Diese Erscheinung beobachtet man aber nur dann, wenn das Licht, welches auf die Schwärmer einwirkt, kein zu intensives ist. Bei hoher Lichtintensität sammeln sich nämlich die meisten Schwärmer nicht am Lichtrande des Tropfens, sondern am gegenüberliegenden Rande desselben an. Sie fliehen also unter diesen Umständen das Licht.

Ein flacher Teller (besser eine Kristallisierschale), in den wir Euglena enthaltendes Wasser gebracht haben, wird in die Nähe des Fensters gestellt und mit einer Glasplatte bedeckt. Die Schwärmer sammeln sich bei nicht zu intensivem Licht am Fensterrande des Tellers an. Dreht man den Teller um 180°, dann sind alsbald wieder die meisten Schwärmer am Fensterrande gruppiert.

b) Experimente mit Haematococcus lacustris. Diese Alge bedeckt oft in Bächen liegende Steine, deren Oberfläche sie schön rot färbt. Wir bringen einige mit Haematococcus besetzte Steine in eine große, flache Schale, deren Boden nur eben mit Wasser bedeckt ist, legen eine Glasplatte auf die Schale und lassen das Gefäß mehrere Tage ruhig stehen. Nach Verlauf dieser Zeit werden einige Steine in einem anderen Gefäß mit Wasser übergossen. Wir lassen sie bis zum nächsten Tage in Wasser liegen und finden gewöhnlich, daß dieses nun viele rote Haematococcusschwärmer enthält. Mit den Schwärmern können wir die unter a angegebenen Experimente wiederholen. Bemerkt muß werden, daß die Haematococcusschwärmer in verschiedenen Stadien ihrer Entwickelung auf Licht von ganz verschiedener Intensität gestimmt sein können. Nicht immer z. B. suchen die Schwärmer, wenn man ihr Verhalten im hängenden Tropfen studiert, im diffusen Licht den Lichtrand des Tropfens auf. Oft sammeln sie sich vielmehr, wenn das Mikroskop dicht am Fenster aufgestellt ist, an dem dem Zimmer zugewandten Tropfenrande an. Solche, auf niedere Lichtintensität gestimmten Schwärmer kann man nur an den Lichtrand des Tropfens bringen, wenn man das Mikroskop mehr oder minder weit vom Fenster entfernt.

c) Experimente mit Chlamydomonas. Die kleinen grünen Schwärmer dieser Alge, welche sich recht gut zu ähnlichen Versuchen,

wie solche unter a und b erwähnt worden sind, eignen, entwickeln sich z. B. zuweilen in nicht benutzten Brunnentrögen in großer Menge.

d) Geotaxie niederer Organismen. Wir saugen etwas Wasser, das Euglena enthält, in einer unten und oben offenen Kapillare von 0,5 mm Durchmesser empor. Stellen wir die Kapillare im Dunkeln senkrecht auf, so sammeln sich die Schwärmer im oberen Teil der Kapillare an. (Aderhold, Jensen.)

e) Aërotaxie niederer Organismen. Eine kleine Schale wird mit Wasser angefüllt, das sehr zahlreiche Euglenaschwärmer enthält. Ebenso füllen wir ein Probierglas mit diesem Wasser bis zum Rande an, verschließen die Mündung mit dem Daumen und stellen das Probierglas derartig auf, daß sein offenes Ende in das Wasser der Schale eintaucht. Bei Lichtabschluß haben nach Verlauf längerer Zeit fast sämtliche Schwärmer das Wasser im Probierglas verlassen und sich in dem Wasser der Schale angesammelt. Ist dies geschehen, so verdrängen wir einen Teil des Wassers im Probierglase durch Luft, breiten auf die Oberfläche der an Schwärmern reichen Flüssigkeit in der Schale eine Oelschicht aus und überlassen den Apparat im Dunkeln sich selbst. Die Schwärmer treten nunmehr in erheblicher Menge aus dem Wasser der Schale in dasjenige des Probierglases über, weil sich ihnen hier reichlichere Sauerstoffmengen darbieten. (Aderhold.)

207. Bewegungen der Myxomycetenplasmodien.

a) Rheotaxie. In einer Gerberei (vergl. Stahls citierte Arbeit) suchen wir Plasmodien von Fuligo varians zu gewinnen. Am besten stellt man die Versuche etwa im Mai an, zu welcher Zeit man den Schleimpilz in den älteren Lohemassen auffindet. Es ist zu bemerken, daß die Plasmodien sehr zarte, leicht absterbende und gegen Berührung mit der Hand empfindliche Gebilde sind. Daher müssen die Lohemassen mit den dieselben durchziehenden Plasmodien vorsichtig behandelt werden. Man tut am besten, die plasmodienhaltige Lohe in einem Kasten aus der Gerberei ins Laboratorium zu bringen.

Ein schmaler, befeuchteter Streifen schwedischen Filtrierpapieres wird mit seinem einen Ende in ein zur Hälfte mit Wasser angefülltes Becherglas eingetaucht. Das andere Ende des Streifens hängt frei nach unten herab und wird auf der die Plasmodien enthaltenden Lohe ausgebreitet. Die ganze Vorrichtung wird verdunkelt und in einem Wärmekasten (vergl. unter 90) bei 25—30° C aufgestellt. Alsbald treten Plasmodienmassen aus der Lohe hervor und kriechen mehr und mehr an dem Papierstreifen empor, indem sie sich rheotaktisch dem vorhandenen Wasserstrom entgegen bewegen.

b) Hydrotaxie. Ein Fließpapierstreifen, auf den wir in eben angegebener Weise Plasmodien gelockt haben, wird in die Mitte einer Glasplatte gebracht, welche vorher mit mehrfacher Lage durchfeuchteten Fließpapieres bedeckt worden war. Die Plasmodien breiten sich in einem Dunkelkasten, in welchem die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, gleichmäßig auf dem horizontalen und durchfeuchteten Substrat aus. Gelangen die Untersuchungsobjekte nunmehr in einen trockenen, aber verdunkelten Raum, und bringt man in geringer Entfernung über den Plasmodien einen mit verdünnter Gelatinegallerte bestrichenen Objektträger an, so ist alsbald (oft nach wenigen Stunden) eine interessante Erscheinung zu beobachten. Das Fließpapier trocknet allmählich aus, und die Plasmodien ziehen sich von den austrocknenden Stellen des Substrats zurück, sammeln

sich aber unter dem Feuchtigkeit spendenden Objektträger an. Damit ist das positiv hydrotaktische Verhalten junger Plasmodien erwiesen.

c) Phototaxie. Das negativ phototaktische Verhalten der Plasmodien läßt sich leicht demonstrieren, indem man an Schleimpilzen reiche Lohestücke im dampfgesättigten Raum diffusem Licht aussetzt. Die Plasmodien ziehen sich in die Lohe zurück. Ebenso suchen auf Glasplatten ausgebreitete Plasmodien bei Lichtzutritt die Orte geringster Lichtintensität, z. B. beschattete Stellen, auf. Auf die Glasplatten, z. B. auch auf Objektträger, sind die Plasmodien leicht in folgender Weise zu bringen. Wir stellen ein mit Wasser angefülltes Trinkglas auf, bringen in das Wasser das eine Ende eines Fließpapierstreifens, dessen Breite etwas geringer als diejenige unserer Objektträger ist, legen das andere Ende des Streifens auf die eine Fläche eines neben dem Glase vertikal aufgerichteten Objektträgers und stellen den ganzen Apparat auf einer Sandschicht auf, die das vom Objektträger abfließende Wasser aufnimmt. An der Basis des Objektträgers findet nun ein Stück Lohe mit aufsitzendem Plasmodium Platz, und zwar wird die Lohe derjenigen Glasfläche angelehnt, an der das Wasser herabrinnt. Die ganze Vorrichtung gelangt unter einer Glasglocke ins Dunkle. Die Plasmodien kriechen infolge ihres rheotaktischen Verhaltens auf den Objektträger und breiten sich auf demselben aus; meist erfolgt dies im Laufe eines halben Tages sicher.

d) Chemotaxie. Es werden Plasmodien verwendet, die in angegebener Weise durch einen Wasserstrom auf einen Fließpapierstreifen gelockt worden sind. Sehr bequem ist es auch, die Plasmodien aus Sklerotien zu gewinnen, indem man diese letzteren in einer Kristallisierschale auf eine feuchte Unterlage (mehrere Blätter mit Wasser durchtränkten Fließpapieres) legt und im Dunkeln sich selbst überläßt. Die Plasmodien verweilen längere Zeit vor Beginn der Versuche unter einer Glasglocke im Dunkeln auf dem feuchten Fließpapier. Sie sollen zunächst aushungern, was für das Gelingen des folgenden Versuches günstig ist. Wir legen nun kleine, mit Loheaufguß durchtränkte Fließpapierkügelchen auf die ausgebreiteten Schleimpilzmassen. Die Substanzen des Loheextraktes wirken anziehend auf die Plasmodien ein, und daher erscheinen die Papierkügelchen bereits nach Verlauf einiger Stunden nach allen Richtungen hin von Plasmodiensträngen durchzogen.

Auf irgend eine Stelle in der Mitte eines auf horizontaler feuchter Unterlage ausgebreiteten Plasmodiums bringt man einen kleinen Kochsalzkristall. Die direkt berührten Schleimpilzteile bräunen sich und sterben ab, während sich die nicht getöteten Teile des Untersuchungsobjektes von dem Kochsalz zurückziehen, so daß Lücken im Plasmodium entstehen, die sich übrigens wieder schließen können, wenn eine hinreichend gleichmäßige Verteilung des sich allmählich auflösenden Kochsalzes im feuchten Substrat erfolgt ist. Dem Kochsalz gegenüber verhalten sich die Plasmodien also negativ chemotaktisch.

II. Geotropische Erscheinungen.

Bei der Behandlung der Frage nach den Ursachen der geotropischen Krümmungen haben Noll (Heterogene Induktion, Leipzig, 1892) und Czapek (Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik, Bd. 32) neuerdings mit

Recht betont, daß wir die rein physikalische (auslösende) Wirkung der Gravitation (oder Zentrifugalkraft) auf die Pflanzen in einer, gewissen Bestandteilen der perzipierenden Zellen erteilten Massenbeschleunigung erblicken müssen. (Vergl. auch Němec, Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik, Bd. 36.) Positiv und negativ geotropische Organe sind auf bestimmte Druckverhältnisse im Plasma der Zellen der perzipierenden Zone gestimmt. Legt man die Pflanzenteile horizontal, dann kommen Druckänderungen zur Geltung, und damit werden Reizkrümmungen ausgelöst. (Ueber diese vergl. 208—213.)

Ob die eingetretene Veränderung der Druckverhältnisse wirklich perzipiert wird, ob Reizungen zu stande kommen, ob sich ein Organ positiv oder negativ geotropisch oder diageotropisch verhält, hängt ganz von den inneren physiologischen Dispositionen der Pflanzenteile selbst ab. Die Kette von Prozessen, welche endlich mit der Reizkrümmung abschließt, kennen wir wenig; eventuell bildet, wie Wortmann will, Protoplasmawanderung ein wichtiges Glied in derselben. Auf jeden Fall treten Veränderungen in der Turgorausdehnung der Zellen auf den antagonistischen Seiten des motorischen Gewebes ein, und Wachstumsbewegungen, die unter Umständen zu bedeutenden Druckwirkungen führen können, sind das Schlußresultat. Der mittlere Gesamtzuwachs sich geotropisch krümmender Pflanzenteile ist kleiner als derjenige geradlinig fortwachsender. So fand Sachs (Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1) z. B. den Zuwachs einer geraden Wurzel von Vicia Faba zu 10,5 mm, den mittleren Zuwachs einer geotropisch gekrümmten nur zu 8,4 mm. (Zuwachs der konvexen Seite = 10,8 mm, der konkaven = 6,1 mm.)

Die Schnelligkeit, mit der eine bestimmte Reizreaktion (Krümmungsintensität) erzielt wird, ist von mancherlei Umständen abhängig. So z. B. werden die Krümmungen erheblich schneller bei höherer als bei niederer Temperatur vollzogen. Bei + 2° C erfolgt in 24 Stunden gar keine Krümmung von Wurzeln; der Schwerkraftreiz ist aber nach Czapek doch bereits perzipiert, denn die Organe krümmen sich, wenn sie nachträglich bei 19° C langsamer Rotation ausgesetzt werden.

Wenn man eine Wurzel in Inverslage (mit der Spitze nach aufwärts gerichtet) bringt, so tritt alsbald geotropische Krümmung hervor. Werden positiv oder negativ geotropisch reagierende Organe derartig aufgestellt, daß ihre Achsen mit der Vertikalen einen sehr kleinen Winkel (ca. 10°) bilden, so erfolgt die geotropische Krümmung erheblich langsamer als dann, wenn man den Pflanzenteilen eine horizontale Stellung erteilt hat.

Von maßgebender Bedeutung für die Schnelligkeit, mit der ein bestimmter Krümmungszustand erzielt wird, und nicht minder für die Form der geotropischen Krümmung, sind noch Dicke des Organs, Biegungsfestigkeit (größere Biegungsfestigkeit verlangsamt das Zustandekommen einer geotropischen Reaktion), Wachstumsgeschwindigkeit, geotropische Reizbarkeit desselben, sowie Dauer der Wirkung der Reizursache. (Sachs, Flora, 1874.)

Für das richtige Verständnis der geotropischen Krümmungen ist es ferner von großer Wichtigkeit, wie namentlich die klassischen Arbeiten von Sachs lehrten, die Verteilung der Wachstumsgeschwindigkeit in den einzelnen Zonen der Organe und die Veränderungen, welche diese im Lauf selbst kurzer Zeiten erfährt, zu beachten. Für viele Organe (z. B. Wurzeln) muß auch hohes Gewicht darauf gelegt werden, daß

allein deren Spitze den Reiz perzipiert, somit die Aktion notwendig von der Spitze nach der Basis fortschreitet. (Darwin, Bewegungsvermögen der Pflanzen, 1881; Czapek, Němec.) Im allgemeinen findet man, daß das Krümmungsmaximum zu einer bestimmten Zeit in der Zone stärksten Wachstums liegt. Später aber ist diese Region, da sie gerade gestreckt wird, dem Einfluß der Gravitation entzogen, und schließlich liegt die bleibende Krümmung in jener noch wachsenden Region, die unmittelbar an den ausgewachsenen, basalen Teil des Organs grenzt. Dieser letztere krümmt sich nicht, denn nur wachstumsfähige Teile können gewöhnliche geotropische (auch heliotropische) Krümmungen vollziehen. Die erwähnte Zone der bleibenden Krümmung wird (bei Wurzeln etc.) zuletzt gereizt, oder sie ist (z. B. bei Stengeln) gerade infolge ihrer beschränkten Wachstumsfähigkeit der Schwerkraftwirkung am längsten in fast horizontaler Orientierung ausgesetzt.

Ein sehr eigenartiges geotropisches Verhalten bieten die Halme der Gräser dar. Wird ein Halm horizontal gelegt, so findet Aufrichtung desselben dadurch statt, daß sich in den Knoten (Knotengelenken), welche bekanntlich die basalen Teile der Blattscheiden repräsentieren, negativ geotropische Krümmungen geltend machen. In den jüngeren Knoten (nicht in den älteren) wird, wenn sie horizontal gerichtet sind, durch Gravitationswirkung erneutes Wachstum angeregt, während die Pflanzenteile in normaler aufrechter Stellung nicht mehr zu wachsen vermögen. Das Wachstum der Unterseite der Knotengelenke erleidet eine bedeutende Förderung, so daß diese Seite konvex wird. Die Oberseite der Knoten wächst schwach oder gar nicht; sie wird sogar oft durch Kompression des Gewebes verkürzt. Infolge der Schwerkraftwirkung haben sich die Zellen des Parenchyms der Unterseite der Knoten, wie leicht festzustellen ist, erheblich durch Wachstum gestreckt.

Auf Schwerkraftreiz reagieren auch die Bewegungsgelenke vieler Pflanzen, z. B. der Papilionaceen. Die Reizursache ruft in den ausgewachsenen Gelenken kein erneutes Wachstum hervor; die zur Geltung kommende Krümmung ist vielmehr nur Folge von Veränderungen im Turgorzustande der Zellen.

Es gibt nicht allein positiv und negativ geotropisch, sondern auch diageotropisch reagierende Pflanzenteile. So verhalten sich z. B. die Nebenwurzeln erster Ordnung. Sie wachsen nicht gleich der Hauptwurzel senkrecht nach abwärts, sondern nehmen unter dem Einfluß der Schwerkraft eine schiefe Wachstumsrichtung an, so daß sie mit der Vertikalen einen bestimmten Winkel bilden (geotropischer Grenzwinkel). Bei Ausschluß der Gravitationswirkung tritt der Eigenwinkel dieser Nebenwurzeln hervor. Baranetzkys wichtige Studien können wir hier nicht berücksichtigen; es würde das zu weit führen.

Die Nebenwurzeln höherer Ordnung reagieren gar nicht oder kaum geotropisch.

208. Die positiv geotropischen Krümmungen der Wurzeln.

a) Konstatierung der Erscheinung. Kleine grüne Erbsen, die 12—16 Stunden lang zum Anquellen in Brunnenwasser verweilt haben und dann noch zum Ankeimen etwa 40 Stunden in feuchten Sägespänen ruhten, dienen zum Experiment. Wir wählen Keimlinge mit völlig gerade gewachsenen, ca. 15 mm langen (nicht viel längeren) Wurzeln aus und befestigen dieselben in der Art, wie es Fig. 119 zeigt, unter einer Glasglocke von ca. 700—800 ccm Kapazität. Der untere

Rand dieser letzteren taucht in Wasser ein, welches sich in einer Kristallisierschale befindet, während die Innenwand der Glocke mit feuchtem Fließpapier ausgekleidet wird. In der Schale ruht eine Korkscheibe, die zur Aufnahme der Nadeln, auf welche die Keimpflanzen aufgespießt worden sind, dient. Die Wurzeln müssen zunächst völlig horizontal gerichtet sein. Beim Aufspießen ist dasjenige zu beachten, was unter 178 gesagt wurde. Benetzung der Wurzeln ist vorteilhaft. Die positiv geotropische Krümmung der Wurzeln tritt in wenigen Stunden sehr schön und deutlich hervor. Temperatur etwa 20° C; Licht ist auszuschließen.

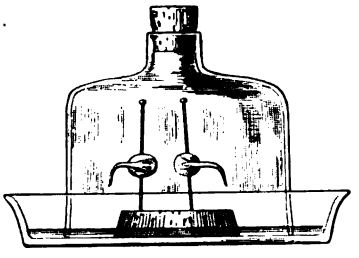


Fig. 119. Apparat zur Konstatierung geotropischer Wurzelkrümmungen.

b) Chloroformwirkung. Es dienen Keimlinge von Viktoriaerbsen mit 15 mm langen Wurzeln zum Versuch. Einige Keimlinge (1) werden genau so, wie unter a angegeben wurde, behandelt. Andere Keimlinge (2) gelangen ebenfalls unter eine Glasglocke und es wird der in seiner Mitte mit einer größeren Bohrung versehene Kork auf ein gesättigtes Chloroformwasser enthaltendes Schälchen gestellt. Nach 2 Stunden zeigen die Wurzeln von 1 deutliche geotropische Krümmungen; die Wurzeln von 2 sind, infolge der lähmenden Wirkung des Chloroformdampfes, noch gerade gestreckt. Später krümmen sie sich aber ebenfalls.

c) Weiteres über Chloroformwirkung. Wird an Stelle des bei b verwandten Chloroformwassers reines Chloroform benutzt, so tritt an den Wurzeln niemals eine geotropische Krümmung auf.

d) Krümmung von Wurzeln, deren Spitze aufwärts gewandt ist. In Sägespänen kultivierte Keimlinge von Vicia Faba werden mit nach aufwärts gerichteter Wurzelspitze in dem unter a angegebenen Apparat befestigt. Temperatur 20° C. Die Keimlinge sind häufiger zu besprengen. Nach ca. 20 Stunden sieht man, daß das fortwachsende Wurzelende gerade gestreckt und bei manchen Untersuchungsobjekten schräg nach aufwärts (oder abwärts) gerichtet ist, während die Wurzelspitze einen gewissen Winkel mit der Vertikalen bildet. Němec nimmt an, daß der wachsende Wurzelteil bei den Umkehrungsversuchen plagiotrop wird, jedoch bedarf die Sache weiterer Untersuchung. Bei Experimenten mit kleinen grünen Erbsen kommt es vor, daß sich die wachsende Wurzelstrecke senkrecht nach abwärts wendet.

e) Dekapitierungsversuche. Keimlinge von kleinen grünen Erbsen mit 15 mm langen Wurzeln, auf denen 10—12 mm entfernt von der Spitze ein Tuschestrich als Marke angebracht worden ist, werden in dem unter a angegebenen Apparat befestigt. Von einigen Wurzeln ist mit Hülfe eines sehr scharfen Messers die Spitze in einer Länge von 1,5 mm durch einen möglichst rechtwinklig durch die Wurzel geführten Schnitt entfernt worden. Die intakt gelassenen Wurzeln sind nach 24 Stunden stark geotropisch gekrümmt und um ca. 10 mm gewachsen. Die dekapitierten Wurzeln haben keine geotropischen Krümmungen ausgeführt, sind aber dennoch, freilich nicht so lebhaft wie die intakten Wurzeln, gewachsen. Es empfiehlt sich, die intakten Wurzeln auch noch 1,5 mm entfernt von ihrer Spitze mit Marke zu versehen, um den Zu-

wachs der Spitze unberücksichtigt lassen zu können. Den dekapitierten Objekten fehlt ja diese Spitzenregion. (Näheres über andere Untersuchungsmethoden bei CZAPEK und NĚMEC. Namentlich sind die kritischen Bemerkungen des zuletzt genannten Forschers über traumatropische Re-

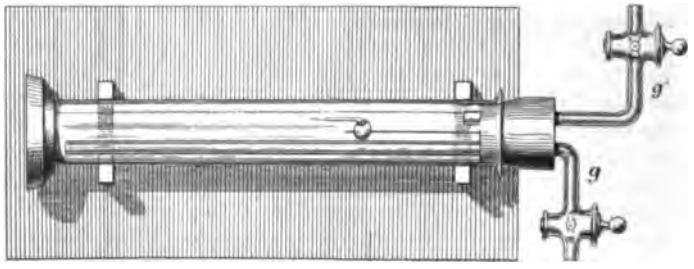


Fig. 120. Apparat zur Konstatierung der Tatsache, daß Pflanzenteile bei Sauerstoffausschluß keine geotropischen Krümmungen erfahren. Der Apparat ist von oben gesehen dargestellt.

aktionen an verletzten Wurzeln und über Regeneration der Wurzelspitze für die Beurteilung der Dekapitierungsversuche sehr wichtig.)

f) Wärmewirkung. In der unter a angegebenen Weise stellen wir Keimlinge von kleinen grünen Erbsen unter 2 Glasglocken auf; *I* im Thermostaten bei 23° C, *II* bei 13° C. Nach 2 Stunden haben sich die Wurzeln von *I* schon deutlich geotropisch gekrümmt, diejenigen von *II* aber noch nicht. Die Krümmung tritt hier erst später ein.

g) Sauerstoffausschluß. Ein Glascylinder von ca. 20 cm Höhe und etwa 4 cm Durchmesser wird mit einem doppelt durchbohrten Kautschukkork verschlossen. In die Bohrungen sind die Glasröhren *g* und *g'* (Fig. 120), beide mit Glashähnen versehen, eingeführt. Der Boden des Cylinders wird mit wenig ausgekochtem Wasser bedeckt, an dem Kork aber eine Erbsenkeimpflanze mit 15 mm langer Wurzel mittelst einer Nadel befestigt. Man leitet nun etwa 2 Stunden lang reines Wasserstoffgas (vergl. unter 14h) durch den Apparat, schließt die Glashähne und legt den Cylinder horizontal. Eine geotropische Krümmung der Wurzeln tritt nicht ein. Sie kommt indessen zu stande, wenn wir den Apparat öffnen, so daß er sich mit Luft anfüllt, und ihn dann nach abermaligem Schließen horizontal legen.

h) Leistung äußerer Arbeit. In ein Gefäß von etwa 10 cm Durchmesser wird bis zu einer Höhe von 3 cm reines Quecksilber gegossen. Wir befestigen nun an dieser Stelle der Seitenwand ein Stück Kork mittelst Siegellackes oder in anderer Weise. Mit Hülfe einer langen Nadel wird dann eine Keimpflanze von Vicia Faba mit einer einige Centimeter langen Wurzel derartig aufgespießt, daß der vordere Teil ihrer Wurzel horizontal auf dem Quecksilber ruht. Nachdem wir noch etwas Wasser auf das Quecksilber gegossen haben und der Apparat unter eine Glasglocke gestellt worden ist, überlassen wir ihn sich selbst. Abgesehen

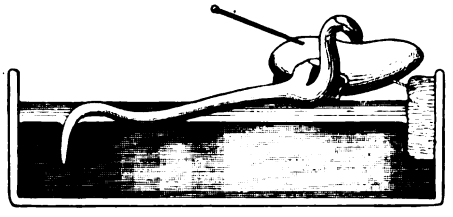


Fig. 121. Keimpflanze von Vicia Faba, deren Wurzelspitze in Quecksilber eindringt. (Nach SACHS.)

von Nebenerscheinungen, läßt sich nach Verlauf längerer Zeit (etwa 24 Stunden) namentlich das Eindringen des Wurzelendes in das Quecksilber konstatieren. Die geotropisch gekrümmte Wurzel überwindet den Widerstand, welchen das Metall ihr darbietet und wächst senkrecht in dasselbe hinein (vergl. Fig. 121).

i) Weiteres über Leistung äußerer Arbeit. Auch mit Hülfe des in Fig. 122 abgebildeten Apparates läßt sich die Tatsache demonstrieren, daß Wurzeln sich mit erheblichem Kraftaufwand geotropisch nach abwärts krümmen. Auf dem Brett *B* steht die Metallsäule *S*. Der Metallstab *St* kann an der Säule *S* verschoben werden; ebenso ist er in horizontaler Richtung von rechts nach links beweglich. Zur Fixierung von *St* dienen Schrauben. An seinem Ende trägt *St* den von oben nach unten verschiebbaren Metallstab *St'*. Dieser trägt die leicht bewegliche Rolle *R*. Ueber die Rolle läuft ein Faden. An dem einen Ende desselben hängt das kleine Gläschen *Sch*. Das andere Ende des Fadens ist an einem Haken befestigt. Der leicht bewegliche Zeiger *Z*, der vor dem Gradbogen *G* spielt, ist an seiner Basis etwas verbreitert. Hier wird der erwähnte Haken befestigt und ebenso ein zweiter, an den man ein kleines Gewicht hängt, um das Gläschen *Sch*, wenn es in Wasser eingetaucht, das sich in einem untergestellten geeigneten Gefäße befindet, zu äquilibrieren. Wir hängen nun an den Haken noch ein weiteres Gewicht, z. B. etwa 1 g, wenn wir mit Keimlingen von Vicia Faba experimentieren. Die Keimlinge sind in geeigneter Weise mit Nadeln auf einem Korkstück befestigt, das in dem Wassergefäß fixiert ist. Die nach abwärts wachsende Hauptwurzel, deren Spitze in das Gläschen *Sch* eingeführt ist, übt auf dieses einen Druck aus. Der Druck, den die wachsende Wurzel geltend macht, drückt das Gläschen trotz der Gegenwirkung von ca. 1 g herab, und der Zeiger *Z* verändert infolgedessen seine Lage.

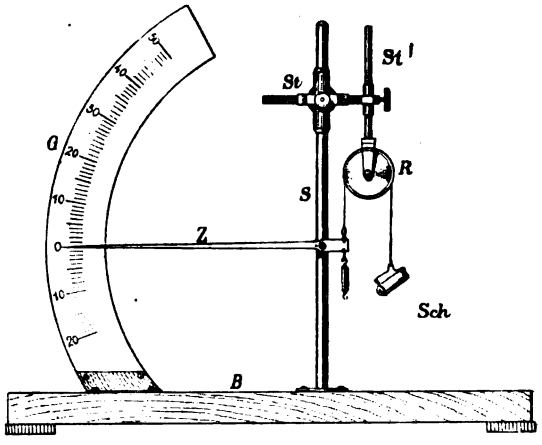


Fig. 122. Apparat zur Demonstration der Arbeitsleistung sich geotropisch krümmender Wurzeln.

209. Spezielleres über geotropische Krümmungen der Wurzeln und deren Wachstum, sowie über die Form der Krümmung.

Für die weiteren, spezieller auf die geotropische Abwärtskrümmung der Wurzeln eingehenden Untersuchungen bedürfen wir zunächst eines besonderen Kastens, wie ein solcher von Sachs zuerst konstruiert wurde und in Fig. 123 abgebildet ist. Ein solcher Kasten ist der Hauptsache nach aus starkem Zinkblech gefertigt. Die Vorder- und Hinterwand werden aber von ca. 20 cm hohen und ca. 30 cm breiten Glasplatten

gebildet, und zwar dürfen diese Wände nicht senkrecht stehen, sondern sie müssen einen Neigungswinkel von etwa 10° besitzen. Der Boden des Kastens und seine metallenen Seitenwände sind mit vielen kleinen Löchern versehen, um den Luftwechsel in der einzufüllenden Erde zu begünstigen. Wir verwenden leichte, sehr humusreiche Erde, wie sie für Gewächshauspflanzen benutzt wird, befeuchten dieselbe mit so viel Wasser, daß sie sich eben noch zwischen der Hand zu einer krümeligen Masse zerreiben läßt, und werfen sie dann durch ein Sieb von 1,5 mm weiten Oeffnungen. Das Bodenmaterial darf beim nun erfolgenden Einfüllen in den Kasten nicht zusammengepreßt werden; es muß eine lockere Beschaffenheit haben, wenn sich die Wurzeln der Untersuchungsobjekte ungestört entwickeln sollen. Die erforderlichen Keimpflanzen haben wir in feuchten Sägespänen kultiviert. Wir verwenden Keimlinge von Vicia

Fig. 124.

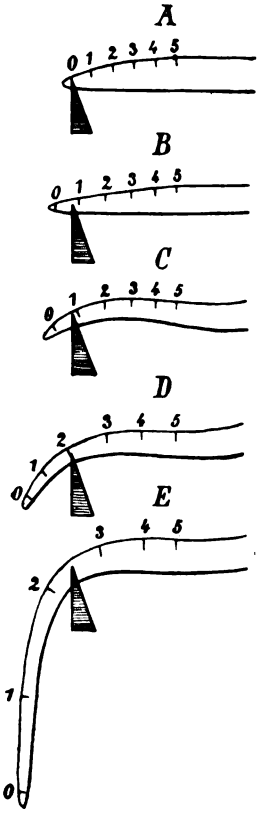


Fig. 123.

Fig. 123. Zinkkasten mit Glaswänden zu Beobachtungen über Wurzelentwickelung.

Fig. 124. Das wachsende und sich geotropisch krümmende Ende einer Keimwurzel von **Vicia Faba.** (Nach SACHS.)

Faba mit 2 cm langen Wurzeln, tragen auf denselben in Entfernungen von 2 mm Tuschestriche als Marken auf (vergl. Methode unter 172) und legen die Keimlinge in die Erde unseres Kastens. Die Wurzeln müssen völlig horizontal gerichtet sein und einer der Glasplatten dicht anliegen. Man klebt der Außenfläche der Glasplatte ein kleines, dreieckiges Papierstückchen auf, dessen eine Spitze genau auf die erste, gleich hinter der Wurzelspitze angebrachte Marke *0* hinweist. SACHS erzielte bei seinen Beobachtungen die in Fig. 124 dargestellten Resultate. In A ist die horizontal gelegte Wurzel abgebildet; in B dieselbe Wurzel nach 1 Stunde, in C nach 2, in D nach 7 und in E nach 23 Stunden, Temperatur 20°. Man sieht, wie das wachsende Wurzelende an dem Index vorbeigeschoben wird. Nach 1 Stunde ist die Wurzel noch gerade, trotzdem sie bereits ein geringes Wachstum erfahren hat. Nach 2 Stunden liegt das Krümmungsmaximum zwischen *0* und *2*, nach 7 Stunden zwischen *1* und *3*

und nach 23 Stunden zwischen *2* und *3*. Die schwach gewachsene Zone zwischen *3* und *4* ist sehr wenig gekrümmt. Alle wachsenden Zonen der Wurzel haben sich an dem Zustandekommen der geotropischen Abwärtskrümmung beteiligt.

Um die Zuwachse der gekrümmten Wurzeln möglichst genau zu bestimmen, wenigstens solange diese Krümmung nahezu einem Kreisbogen gleicht, verwendet man nach Sachs Glas- oder Glimmerplatten, auf denen mit der Zirkelspitze eine Anzahl konzentrischer Kreise von bekanntem Radius (der größte Kreis möge einen Radius von 20 mm besitzen) eingeritzt sind. Die Viertelkreise teilt man in 90 Teile oder durch fortgesetzte Halbierung in 8, 16, 32 Teile. Man berechnet für jeden Radius die Länge eines solchen Bogenstückes. Die in einer Tabelle zusammengestellten Werte dienen zur Feststellung der Bogenlängen der gekrümmten Wurzeln. Die Kreisteilung wird an die Glasplatte, hinter der sich die Wurzel befindet, angelegt. Man probiert, welcher Kreis mit der Krümmung (oder einem Teil derselben) der konvexen Seite der Wurzel zusammenfällt. Solche Beobachtungen zeigen besonders klar, daß sich an dem Zustandekommen der geotropischen Krümmungen sämtliche im Wachstum begriffene Regionen der Wurzel beteiligen.

Die Verwendung der Kreisteilung gestattet es auch, Aufschluß über die Form der Krümmung zu gewinnen. Dieselbe gleicht zunächst, etwa bis zur 7. Stunde nach Beginn des Versuches, fast genau einem Kreisbogen. Später zeigt die Krümmung einen mehr parabelähnlichen Verlauf.

210. Der negative Geotropismus der Sproßachsen.

a) Genauere Feststellungen der Beziehungen zwischen Geotropismus und Wachstum. Wir kultivieren Phaseoluskeimlinge im Dunkeln (20° C) in Blumentöpfen. Es empfiehlt sich, mehrere Tage hintereinander neue Aussaaten vorzunehmen, um später stets Pflanzenmaterial von geeignetem Entwickelungszustande für die ziemlich viel Uebung erfordernden Experimente zur Disposition zu haben. Haben die Epikotyle nach ca. 7 Tagen ca. 6 cm Länge erreicht, so schneiden wir die weniger gut ausgebildeten Pflanzen ab, lassen nur je ein Epikotyl in jedem Topf stehen und bringen auf einer Flanke desselben Tuschestriche als Marken in je 3 mm Entfernung an. (Vergl. Methode unter 172.) Die entgegengesetzte Flanke versehen wir nur mit zwei Tuschestrichen, von denen der eine genau mit dem untersten, der andere mit dem obersten Striche der zuerst markierten Seite korrespondiert. Nach dem Markieren drehen wir den Blumentopf um 90°, so daß die Endknospe des Epikotyls nach aufwärts gewandt, die mit zahlreichen Strichen versehene Flanke dem Beobachter also zugekehrt ist, um den Pflanzenteil, abgesehen von seinem, durch Nutation stark gekrümmten oberen Ende, abzuzeichnen und in der Zeichnung auch die Lage der Tuschestriche zu markieren. Der Blumentopf muß dabei auf irgend eine Art so festgehalten werden, daß der Keimstengel in horizontaler Lage auf einem Blatt weißen Papieres ruht. Nun bringen wir die Kulturgefäße in unseren Sandkasten (Fig. 126). Die Epikotyle schweben in horizontaler Lage in der Luft. Ihre markierte Flanke ist nach abwärts gewandt. Bei 20° C tritt an den im feuchten, dunklen Raum verweilenden Untersuchungsobjekten bereits nach 2 Stunden (bei höherer Temperatur noch früher) eine deutliche geotropische Reaktion ein, die weiterhin verstärkt wird. Durch wiederholtes Abzeichnen der Epikotyle suchen wir den jeweiligen Krümmungszustand derselben zu fixieren. Nach Ver-

lauf von 24 Stunden wird auch der Zuwachs, den die einzelnen markierten Zonen erfahren haben, ermittelt und ebenso die nunmehrige Entfernung der untersten und obersten Marken auf der konvexen sowie konkaven Flanke der Stengel bestimmt. Diese Entfernung finden wir für jene erstere Seite oft um einige Millimeter größer als für die letztere. Faiszt hat nach Experimenten in meinem Praktikum nebenstehende Zeichnung hergestellt (Fig. 125). Bei der Bestimmung der Zuwachsgrößen erhielt er nach 24 Stunden folgende Werte: 1. Zone (unten) 0 mm, 2. Zone 0, 3. Zone 0,2, 4. Zone 0,2, 5. Zone 0,2, 6. Zone 0,2, 7. Zone 0,5, 8. Zone 1,0, 9. Zone 1,5, 10. Zone 2,0, 11. Zone 2,0, 12. Zone 2,5, 13. Zone 3,0, 14. Zone (oben) 2,0 mm.

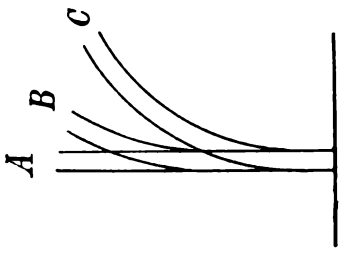


Fig. 125. Stück eines Epikotyls von Phaseolus in verschiedenen Stadien geotropischer Krümmung. *A* horizontal gelegt, *B* nach 2-stündiger, *C* nach weiterer, 6½-stündiger Krümmung..

Die mit besonderer Sorgfalt und an mehreren Objekten durchzuführenden Untersuchungen lehren, daß sich sämtliche wachsende Stengelregionen (nicht aber diejenigen, welche kein Längenwachstum mehr erfahren) an dem Zustandekommen der geotropischen Krümmung beteiligen. Zunächst krümmt sich nur der lebhaft wachsende Spitzenteil des Stengels, während die langsam wachsende basale Region desselben noch gerade gestreckt bleibt. Später geht die geotropische Krümmung aber auch auf diese über. Nach Verlauf von 24 Stunden oder längerer Zeit erscheint der vordere Stengelteil mehr oder minder gerade aufgerichtet; es besteht dann eine recht scharfe Krümmung an der Basis der wachstumsfähigen Region des Pflanzenteiles. Die konvexe Seite geotropisch gekrümmter Stengel ist erheblich länger als deren konkave Seite. Die Form der geotropischen Krümmung ändert sich im Laufe der Experimente fortwährend. Schließlich bleibt etwas oberhalb des ausgewachsenen Teiles des Stengels eine recht scharfe Krümmung mit kleinem Krümmungsradius bestehen.

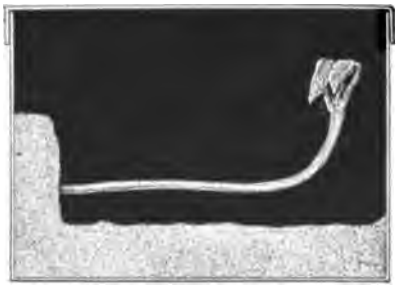


Fig. 126. Epikotyl von Phaseolus in einem Zinkblechkasten geotropisch gekrümmt.

b) Geotropismus verschiedener Stengelteile. Der Boden eines Zinkblechkastens von ungefähr 30—35 cm Länge, 20—25 cm Breite, und 25 cm Höhe, der mit einem Deckel aus Zinkblech versehen ist, wird einige Centimeter hoch mit feuchtem Sand bedeckt, und ein Teil dieses Sandes an der einen Seitenwand zu einem Wall aufgehäuft. Die auf ihr geotropisches Verhalten zu prüfenden geraden Stengel werden mit ihrem unteren Ende in den Sandwall hineingesteckt, so daß sie völlig horizontal gerichtet sind und ihr freies Ende, ohne den Sand zu berühren, in der feuchten Luft des verschlossenen Kastens schwebt (Fig. 126). Zum Versuch dienen z. B. Blütenknospen tragende Sprosse von Chrysanthemum leucanthemum, abgeschnittene Epikotyle im Dunkeln er-

wachsener Phaseoluskeimlinge, Stengelstücke von Aristolochia Sipho, die aus lebhaft wachsenden Internodien herausgeschnitten sind, entblätterte Sprosse vun Sambucus nigra, blütentragende Sprosse von Agrostemma Githago, Blütenschäfte von Taraxacum officinale. Die negativ geotropische Krümmung macht sich in fast allen Fällen im Laufe weniger Stunden deutlich geltend. Temperatur etwa 20° C.

c) Verschiedene geotropische Reaktionsfähigkeit. Experimentieren wir in der unter b angegebenen Art mit Aristolochia- oder Agrostemmasprossen einerseits und Sambucusstengeln andererseits, so ergibt sich, daß jene ersteren sich recht schnell, die letzteren aber nur langsam aufwärts krümmen, weil die geotropische Reaktionsfähigkeit verschiedener Pflanzenteile nicht die nämliche ist.

d) Versuche mit Stengelstücken. Wenn wir an Stengelstücken, die aus lebhaft wachsenden Internodien von Aristolochia oder aus dem im Dunkeln erwachsenen Phaseolusepikotyl herausgeschnitten worden sind, und die in unter b angegebener Weise behandelt werden, geotropische Krümmung beobachten, so lehrt diese, daß die Spitze der Pflanzenteile nicht notwendig vorhanden sein muß, um eine geotropische Reaktion auszulösen. (Vergl. das Verhalten der Wurzeln.)

e) Versuche mit Agrostemmasprossen. Wir experimentieren in der unter b angegebenen Art mit den langen, dünnen, blütentragenden Stengeln von Agrostemma Githago, von denen die Blüte abgeschnitten worden ist. Nach wenigen Stunden finden wir den freischwebenden Stengelteil über die Vertikale hinaus, dem Sandwall zu gekrümmt, eine Erscheinung, die durch geotropische Nachwirkung zu stande kommt. Später stellt sich der Gipfel des Stengels vertikal, indem die Schwerkraft ihre Wirkung auf den nach rückwärts gekrümmten Gipfel auch weiterhin geltend macht.

f) Geotropische Nachwirkung. Die Basis eines beblätterten Sprosses von Hippuris vulgaris wird in den Sandwall unseres Zinkkastens gesteckt. (Vergl. unter b.) Bei höherer Temperatur ist bereits nach 1—1½ Stunde eine schwache geotropische Krümmung am Untersuchungsobjekt wahrnehmbar. Jetzt bringen wir den Sproß in senkrechter Stellung unter eine Glasglocke. Sein unteres Ende steckt in feuchtem Sand, und das Licht wird vom Untersuchungsobjekt abgehalten. Zu unserer Ueberraschung gewahren wir nach einiger Zeit, daß die bei horizontaler Lage des Hippurissprosses aufgetretene Krümmung jetzt, wo derselbe in senkrechter Lage verweilt, erheblich stärker wird. Wir haben es hier mit einer geotropischen Nachwirkung zu tun, indem der bei horizontaler Lage des Stengels perzipierte Reiz bei vertikaler Stellung desselben noch nachwirkt. Schließlich streckt sich der Hippurisstengel natürlich völlig gerade.

g) Form der geotropischen Krümmung. Wir experimentieren in der unter b angegebenen Art mit ca. 25 cm langen, lebhaft wachsenden, völlig geraden, entblätterten Sprossen von Aristolochia oder Sida. Wenn die Untersuchungsobjekte 1, 2, 4 und 24 Stunden im Kasten verweilt haben, skizzieren wir ihre Umrisse auf Papier. (Vergl. Näheres unter a.) Betrachtet man die Bilder, welche ein und derselbe Pflanzenteil nach verschiedenen Zeiten geliefert hat, so ergibt sich, daß im Laufe der Versuche ältere Teile der Sprosse, die anfangs gar nicht oder kaum gekrümmt waren, später gekrümmt erscheinen. Genauere Beobachtungen nach dieser Richtung hin sind schon unter a angegeben worden.

h) Experimente mit Sidasprossen. Wir experimentieren mit ca. 30 cm langen, kräftig wachsenden, geraden, entblätterten Sidasprossen. Wir tragen auf Ober- und Unterseite der Sprosse, in Entfernung von je 25 cm, Tuschestriche als Marken auf. Die eine Marke wird auf jeder Stengelseite 25 cm weiter rückwärts angebracht. Messen wir die Entfernung der Marken nach 24 Stunden, wenn eine starke geotropische Reaktion der Organe im Zinkblechkasten eingetreten ist, so ergibt sich, daß die oberseitigen Marken etwa nur um 0,5 mm, die unterseitigen aber um etwas über 1 mm auseinandergerückt sind.

i) Leistung äußerer Arbeit. Auf einem Brett von ca. 20 cm Länge und ca. 10 cm Breite sind 4 Holzsäulen von ca. 8 cm Höhe errichtet. Diese Säulen tragen ein zweites Brett, welches ungefähr die Größe des ersten besitzt und mit einem etwa 5 mm breiten und 12 cm langen Spalt versehen ist, der von dem einen schmalen Rande des Brettes bis ungefähr zur Mitte desselben verläuft. Ein abgeschnittenes, im Dunkeln zur Entwickelung gelangtes Epikotyl von Phaseolus, von etwa 8 cm Länge, wird auf dem Brett mittelst einer Nadel befestigt, die Basis des Pflanzenteils mit feuchtem Sand umgeben, während der vordere Teil des Epikotyls über dem schmalen Spalt des Brettes ruht und an seinem Ende einen durch ein Gewicht von 5 g gespannten Faden trägt, der nach unten herabhängt. Stellen wir die ganze Vorrichtung in den unter b erwähnten Zinkkasten, so zeigt das Epikotyl trotz der Belastung doch bald eine geotropische Krümmung. (Näheres vergl. bei Meischke, Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 33.)

k) Turgor und Geotropismus. Ein Blumentopf, in welchem sich Phaseoluskeimlinge mit 6 cm langem Epikotyl bei Lichtabschluß entwickelt haben, wird in unseren Sandkasten (Fig. 126) horizontal gelegt. Temperatur 20° C. Nach 2 Stunden schneiden wir eines der schon erheblich geotropisch gekrümmten Epikotyle ab, zeichnen den Umriß desselben genau ab und legen es zur Plasmolyse 24 Stunden lang in 20-proz. Kochsalzlösung. Der Pflanzenteil streckt sich völlig gerade, denn zunächst kommt die geotropische Krümmung wesentlich nur durch Aenderungen der Turgorausdehnung der Zellen der antagonistischen Seiten des Stengels zur Geltung. Wenn wir ein Epikotyl, nachdem dasselbe 40 Stunden lang in horizontaler Lage verweilt hat, plasmolysieren, dann bleibt die Krümmung vollständig erhalten, da sie durch Wachstumsvorgänge fixiert worden ist.

l) Geotropismus von Mucor. Genau in der Art, wie unter 41 angegeben wurde, säen wir Mucorsporen auf sterilisiertem Brot aus. 40 Stunden später legen wir eins der Bechergläser, in welchen das Brot Platz gefunden hat, horizontal; das andere verweilt in aufrechter Stellung (Kontrollversuch). Nach ca. 24 Stunden (Lichtausschluß natürlich erforderlich) ist die geotropische Krümmung der sich entwickelnden Mucorfruchtträger sehr deutlich zu beobachten.

211. Negativ geotropische Krümmungen der Plumula einiger Gräser.

a) Konstatierung der Erscheinung. Kleine Blumentöpfe, welche 6 cm hoch sind und oben 6 cm Durchmesser haben, werden mit Gartenerde angefüllt und in eine flache Schale gestellt, auf deren Boden sich etwas Wasser befindet. Wir säen in jeden Topf etwa 6 vorher nicht angequollene Weizenkörner mit nach abwärts gekehrtem „Wurzelende“ aus und bedecken die Körner noch mit etwas Erde. Hat die Plumula der sich im Dunkeln unter einem Zinkblechrezipienten ent-

kelnden Keimlinge 2—3 cm Länge erreicht (bei 20° C in ca. 5 Tagen), legen wir einen Topf horizontal. Nach wenigen Stunden ist eine ke geotropische Krümmung der Plumula bemerkbar.

b) Geotropische Nachwirkung. In kleinen Blumentöpfen ivierte Weizenkeimlinge mit 2—3 cm langer Plumula werden im keln bei 20° C 1 Stunde lang horizontal gelegt. Nach dieser Zeit die Plumula noch fast gerade gestreckt. Stellt man die Blumentöpfe senkrecht im Dunkeln auf, so zeigen die Keimlinge nach abermals tunde schöne Krümmungen, infolge geotropischer Nachwirkung. Der ; ist bei horizontaler Lage der Plumula perzipiert, so daß die Reiz- :ung auch bei vertikaler Stellung derselben zu stande kommt.

c) Fixierung geotropischer Krümmungen durch Wachs- ı. Keimlinge von Triticum mit 2—3 cm langer Plumula werden durch zontallegen der Töpfe, in denen sie kultiviert worden sind, 3 Stunden geotropisch gereizt. Richtet man die Töpfe nun auf, so strecken die Keimlinge infolge ihres Autotropismus und neuer Schwerkraft- ungen gerade. Werden Weizenkeimlinge zunächst 30 Stunden lang ropisch gereizt und erst nunmehr aufgerichtet, dann wird die durch hstum fixierte Krümmung nicht mehr ausgeglichen, sondern es ent- t eine neue geotropische Krümmung an der Spitze der Pflanzenteile.

d) Geotropismus und Turgor. Weizenkeimlinge mit ca. 3 cm er Plumula werden in horizontale Lage gebracht. Nach 4 Stunden ı wir die schon stark gekrümmte, abgeschnittene Plumula einiger kte nach dem Abzeichnen der Plumula in 20-proz. Kochsalzlösung. Laufe von 24 Stunden wird die vorhandene geotropische Krümmung zum Teil wieder ausgeglichen. (Vergl. unter 210 k.)

e) Orientierung der Plumula und Geotropismus der- ıen. Kleine Blumentöpfe, in denen sich Weizenkeimlinge mit 20 mm er Plumula entwickelt haben, werden bei Lichtabschluß *a* horizontal gt, *b* umgekehrt so aufgestellt, daß die Keimteile unter 5—10° ge- ; sind. Nach 2 Stunden (18° C) sind die Keimlinge von *a* viel ter als diejenigen von *b* gekrümmt.

Geotropische Krümmungen an Gelenken der Gräser und anderer Pflanzen.

a) Konstatierung der Erscheinung. Aus den Halmen ender Roggen- oder Gerstenpflanzen schneiden wir einzelne Stücke etwa 10 cm Länge heraus. Jedes Stück hat in seiner Mitte ein engelenk. Führen wir die Stücke mit ihrer ı in den Sandwall eines Zinkblechkastens vergl. Fig. 126), so ergibt sich nach einiger daß die geotropische Aufrichtung der Halm- te nur durch deren Gelenke vermittelt wird. gl. Fig. 127.) Experimentiert man mit Halm- ten verschiedenen s eines Halmes, dann t man, daß die eren (oberen) Halm- te sich z. B. im Laufe 20—40 Stunden er- ch stärker krümmen als die älteren. Winkelmessungen lassen den nmungsgrad noch genauer bestimmen. Recht alte Halmstücke zeigen keine geotropische Krümmung.

Fig. 127. Halmstück eines Grases, geotropisch gekrümmt.

b) Wachstum der sich geotropisch krümmenden Knoten-

gelenke. Wir wiederholen den unter a angegebenen Versuch mit jüngeren Halmstücken, nachdem wir die Länge der Gelenke auf ihrer Ober- und Unterseite durch je 2 feine Tuschestriche markiert haben. Nach 2—3 Tagen messen wir die Entfernung der Tuschestriche abermals. Es ergibt sich, daß die konvexe Unterseite der Knoten erheblich an Länge zugenommen hat, während die konkave Oberseite nicht gewachsen ist oder gar infolge von Kompression ihres Gewebes etwas verkürzt erscheint. Anfängliche Länge eines Gelenkes z. B. 1,5 mm, Länge der Gelenkoberseite bei Abschluß des Versuches 1,5, der Unterseite 4 mm. Die Gelenke solcher Halmstücke, welche senkrecht aufgestellt werden, wachsen nicht und bleiben gerade gestreckt, wie einfache Versuche lehren.

c) Wachstum der Zellen sich geotropisch krümmender Gelenke. Wir stellen aus einem Knotengelenk des Hafers radiale Längsschnitte her, nachdem derselbe vorher eine recht starke geotropische Krümmung ausgeführt hat. Die mikroskopische Untersuchung ergibt, daß die Parenchymzellen der Unterseite beträchtlich in Richtung der Längsachse des Organs gestreckt sind, während die Zellen der Oberseite eine tafelförmige Gestalt besitzen; ihr Längsdurchmesser ist kürzer als ihr Radialdurchmesser. Die Zellen der konvex werdenden Unterseite sich geotropisch krümmender Grasknoten wachsen also viel stärker, als die entsprechenden Zellen der Oberseite der Organe.

d) Orientierung der Halmstücke und Geotropismus derselben. Zum Experiment dienen gleichalterige, in ihrer Mitte mit einem Knotengelenk versehene Halmstücke (ca. 12 cm lang) von Hordeum vulgare. Sie stecken mit der Basis in feuchtem Sand, mit dem kleinere Gläser angefüllt sind. Man stülpt diese Gläser über die Oeffnungen größerer Gefäße, deren Boden mit Wasser bedeckt ist. Eine Vorrichtung (*a*) legen wir horizontal; die andere (*b*) wird so aufgestellt, daß die Halmstücke, deren Spitze nach abwärts zeigt, mit der Vertikalen einen Winkel von 5—10° bilden. Nach 6 Stunden ergeben Winkelmessungen, daß die Objekte von *a* stärkere, diejenigen von *b* sehr schwache geotropische Nutationen vollzogen haben. Horizontal gelegt, krümmen sich die Halmstücke von *b* aber ebenfalls stark.

e) Experimente mit Polygonum Bistorta. Es seien hier auch Versuche mit den in Internodien gegliederten und mit langen Gelenken versehenen Blütenstengeln von Polygonum erwähnt. Wir bringen dieselben in den Zinkblechkasten und finden nach 24 Stunden eine recht lange Strecke an der Basis jedes der zusammenhängenden Internodien gekrümmt. Winkelmessungen ergeben, daß die Krümmung der jüngeren Stengelteile erheblicher als diejenige der älteren ist. Hier wird die geotropische Aufrichtung der Organe nicht, wie bei den Gräsern, durch die basalen Teile der Blattscheiden, sondern durch diejenigen der Internodien selbst vermittelt.

f) Geotropische Krümmungen an den Gelenken der Bohnenblätter. Eine Pflanze von Phaseolus multiflorus wird in einem Blumentopf zur Entwickelung gebracht, bis das dritte dreizählige Blatt zur Ausbildung gelangt. Wir legen Sperrhölzer auf die Erde im Topfe, kehren denselben um, und lassen das Untersuchungsobjekt dann 24 Stunden lang im Dunkeln stehen. Das Stengelende der Bohne hat sich geotropisch aufgerichtet. Auch in den Gelenken der Hauptblattstiele, namentlich in denjenigen der jüngeren Blätter, ist eine energische geotropische Reaktion zur Geltung gekommen, so daß jene Gelenke stark

gekrümmt erscheinen und die Blattstiele daher wieder mehr oder minder nach aufwärts gerichtet sind.

213. Diageotropische Erscheinungen.

a) Geotropismus der Nebenwurzeln. Wir legen den angekeimten Samen von Phaseolus in den unter 209 beschriebenen, mit Glaswänden versehenen und mit lockerer Gartenerde angefüllten Glaskasten aus. (Der Kasten ist im Dunkeln aufzustellen.) Die Hauptwurzeln wachsen gerade nach abwärts an der Glaswand hin. Die in akropetaler Reihenfolge entstehenden Nebenwurzeln erster Ordnung wachsen aber, wie es Fig. 128 zeigt, in mehr oder minder schiefer Richtung nach abwärts. Nur die an der Wurzelbasis entspringenden Nebenwurzeln sind nahezu horizontal gerichtet, und die aus dem hypokotylen Glied hervorgehenden wachsen sogar schräg nach aufwärts. Ganz ähnliche Resultate erhält man, wenn die Wurzeln von Phaseolus sich in feuchten Sägespänen, im Wasser oder in feuchter Luft entwickeln. Die Beobachtungen in den beiden letzteren Medien sind unter Benutzung großer Glascylinder (vergl. Fig. 106) durchzuführen. Die eben angekeimten Samen werden an langen Nadeln befestigt. In feuchter Luft wachsende Keimlinge sind mit feuchter Watte zu umgeben und täglich mehrmals zu besprengen. Den Winkel, welchen die Nebenwurzeln erster Ordnung mit der Vertikalen bilden, bezeichnet man als geotropischen Grenzwinkel. Derselbe hat die größte Aehnlichkeit mit dem Eigenwinkel der Nebenwurzeln, über welchen Näheres im Abschnitt über den Klinostaten angegeben ist. Danach könnte es scheinen, daß die Nebenwurzeln erster Ordnung überhaupt nicht geotropisch sind; indessen ihr diageotropisches Verhalten läßt sich dennoch leicht durch folgenden Versuch feststellen. Wir kultivieren Phaseolus in feuchten Sägespänen. Haben sich Nebenwurzeln entwickelt, so orientieren wir die Keimlinge in den Spänen derartig, daß die Spitzen der Haupt- und Nebenwurzeln nach aufwärts gekehrt sind. Nach 24 Stunden können wir an den Nebenwurzeln deutlich geotropische Krümmungen beobachten, die natürlich nicht so weit gehen, um die Wurzelenden in vertikale Stellung zu bringen.

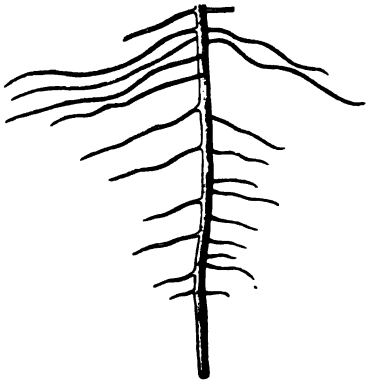


Fig. 128. Teil einer hinter einer Glaswand erwachsenen Wurzel von Phaseolus multiflorus.

Kultivieren wir Phaseoluspflanzen längere Zeit in unserem Erdkasten, so entspringen schließlich auch aus den Nebenwurzeln erster Ordnung solche zweiter Ordnung. Diese letzteren bilden meist mit den ersteren einen rechten Winkel; sie wachsen ihrer Anlage gemäß weiter, da sie, wie SACHS nachwies, nicht geotropisch reagieren.

b) Geotropismus der Adoxarhizome. Untersucht man im Frühjahr den Boden in der Nähe blühender Exemplare von Adoxa Moschatellina, so findet man, daß zahlreiche elfenbeinweiße Rhizome dieser Pflanze das Erdreich durchziehen. Wir schneiden die Enden einiger Rhizomzweige in einer Länge von mehreren Centimetern ab, stecken sie mit ihrer Basis in die feuchte Erde eines Blumentopfes, so

daß ihre Spitzen gerade aufwärts gewandt sind, und stellen unsere Vorrichtung unter einer Glasglocke in einen dunklen Raum. Nach Verlauf von 2—3 Tagen ist der fortwachsende Teil der Rhizomspitzen horizontal gerichtet und wächst infolge diageotropischen Verhaltens der Organe in dieser Richtung weiter.

III. Heliotropische Erscheinungen.

Wir bezeichnen als Photometrie mit Oltmanns ganz allgemein das Vermögen der Pflanzen, verschiedene Grade der Lichtintensität zu perzipieren. Durch ihre photometrische Reaktionsfähigkeit und durch ihre Lichtstimmung, die übrigens vielfach veränderlich ist, wird es den Gewächsen möglich, die für sie günstigsten Beleuchtungsverhältnisse (optimale Lichtintensität) aufzusuchen, ein Ziel, welches durch Bewegungen mannigfaltiger Art erreicht wird.

Wenn photometrische Organismen oder Zellenbestandteile die ihrer Lichtstimmung entsprechende Orientierung durch Ortsveränderungen ihres ganzen Körpers erreichen oder zu erreichen streben, dann nennen wir sie phototaktisch. Radiär gebaute Organismen sind orthophototaktisch (viele Algenschwärmer); sie richten ihr Vorderende direkt auf das Optimum der Lichtintensität hin. Plagiophototaxie treffen wir hingegen bei lateralen Gebilden (Chlorophyllkörpern) an.

Ebenso wie im Vorstehenden folgen wir auch weiterhin Oltmanns, indem wir im Gegensatz zur Phototaxie von Phototropie dann reden, wenn photometrische Pflanzen die ihrer Lichtstimmung entsprechende Helligkeit durch auf sehr mannigfaltige Art ausgeführte Krümmungen ihrer Glieder gewinnen. Orthophototropie tritt als positiver oder negativer Heliotropismus in die Erscheinung, während der Diaheliotropismus und auch die unter Mitwirkung von Gelenken ausgeführten Bewegungen vieler Blätter (z. B. Bohnenblätter, die am Tage je nach der Intensität des Lichtes ihre Stellung ändern) in die Kategorie der plagiophototropen Phänomene gehören.

Für dieses Praktikum scheint es geboten, die Gliederung des Stoffes nicht nach den angedeuteten theoretischen Gesichtspunkten durchzuführen. Wir behandeln an dieser Stelle nur das positiv und negativ heliotropische Verhalten der Pflanzen. Von den Schwärmer- sowie Chlorophyllkörperbewegungen war bereits die Rede; nyktitropische Bewegungen kommen weiterhin zur Erörterung.

Für das Zustandekommen der heliotropischen Bewegungen ist ebensowenig wie für dasjenige der phototaktischen der Schwärmer die Richtung der Lichtstrahlen maßgebend, sondern sie werden durch Unterschiede der Lichtintensität bedingt. Damit steht die Tatsache nicht in Widerspruch, daß die heliotropisch gekrümmten Organe unter gewöhnlichen Umständen ihre Achsen parallel zu den einfallenden Strahlen richten. Die positiv heliotropischen Organe wenden ihre Spitze, wenn sie einseitig beleuchtet werden, dem Orte höherer Lichtintensität zu, die negativ heliotropischen aber von diesem ab.

In seltenen Fällen (Plumula nicht gar zu junger Individuen von Panicum miliaceum) haben wir an heliotropisch empfindlichen Organen die scharfe Sonderung einer den Lichtreiz allein perzipierenden Spitzenregion und einer darunter liegenden nicht direkt perzipierenden, sondern

erst infolge von Reizzuleitung zu Bewegungen veranlaßten motorischen Zone zu unterscheiden. Meist (z. B. Plumula von Avena sativa) reagiert das ganze Organ direkt auf den Lichtreiz. Seine Spitze ist nur in erster Linie perzeptionsfähig, so daß Verdunkelung derselben die Ausgiebigkeit der Krümmung vermindert.

Unter dem Einfluß gemischten blauen Lichtes treten starke heliotropische Bewegungen ein; das gemischte gelbe Licht löst gar keine oder nur schwache Krümmungen aus.

Viele Organe reagieren heliotropisch bereits auf sehr geringe Lichtintensitäten; die Reizschwelle liegt sehr niedrig. Es sind verschiedene Pflanzenteile bekannt (Fruchtträger von Phycomyces, Keimstengel von Lepidium etc.), die bei schwacher Lichtintensität ein positiv heliotropisches Verhalten erkennen lassen, bei hoher Lichtintensität gar keine Krümmung zeigen oder gar negativ heliotropisch sind. Die Lichtstimmung eines Organs kann im Laufe seiner Entwickelung Veränderungen erleiden. Die Blütenstiele von Linaria Cymbalaria zeigen positiven Heliotropismus; alsbald nach der Bestäubung verlängern sich die Stiele bedeutend, und, indem sie nun negativ heliotropisch werden, führen sie die Früchte zur Aussaat in die Spalten der Steinwände, an welchen die Pflanze wächst.

Die Form der heliotropischen Krümmung eines Organs, resp. die Schnelligkeit, mit der ein bestimmter Krümmungswert erzielt wird, sind von mancherlei Faktoren (namentlich Dicke und Biegungsfestigkeit des Pflanzenteils sowie Wachstumsintensität und heliotropische Reizbarkeit desselben) abhängig. Die Krümmung selbst kommt durch verschiedene Größe der Turgorausdehnung und des Wachstums der antagonistischen Seiten zu stande. Bei positiv heliotropischen Organen wächst die nicht direkt beleuchtete Seite schneller als die Lichtseite, jedoch hat man es nicht einfach mit einem teilweisen Etiolement jener ersteren zu tun, wie das Wachstum der sich negativ heliotropisch krümmenden Pflanzenteile deutlich lehrt. Der mittlere Gesamtzuwachs sich heliotropisch krümmender Glieder fällt geringer aus als derjenige unter übrigens gleichen Umständen geradlinig fortwachsender.

Die Kette von Vorgängen, die zwischen Reizung und heliotropischer Krümmung liegt, können wir heute noch nicht klar überschauen. Möglich, daß auch hier, ähnlich wie vielleicht bei geotropischen Krümmungen, Plasmawanderungen eine wichtige Rolle spielen (s. S. 225). Solche Annahme würde auch gestatten, phototaktische und phototropische Erscheinungen in nähere Beziehung zueinander zu bringen. (Müller-Thurgau, Flora, 1876; Oltmanns, Flora, 1892; Rothert, Cohns Beiträge zur Biologie der Pflanzen, Bd. 7; Wiesner, Denkschriften d. Akademie d. Wiss. zu Wien, Bd. 39 und 43.)

214. Heliotropische Kammer und orientierende Versuche.

a) Heliotropische Kammer. Dieselbe besteht aus einem aus starker Pappe gefertigten, im Innern mit mattschwarzem Papier überklebten Kasten von ca. 16 cm Höhe, 20 cm Tiefe und 12 cm Breite (vergl. Fig. 129). Deckel und Rückwand des Kastens, beide mit übergreifenden Rändern versehen, können zurückgeschlagen werden. Die Vorderwand des Kastens ist mit einem horizontalen (eventuell auch vertikalen) Spalt von 3 cm Höhe und ca. 5 cm Länge versehen; sie trägt das Ansatzrohr *R*, an dem auch noch eine einen Spalt besitzende Verschlußplatte angebracht werden kann.

Die Samen der Untersuchungsobjekte (Lepidium, Sinapis, Triticum vulgare, Avena sativa, Panicum) kultiviert man in Gartenerde, mit der ca. 6 cm hohe Blumentöpfe bis zum Rande angefüllt sind. Die Samen, namentlich die größeren, sind so auszulegen, daß ihr „Wurzelende" von vorherein nach unten gekehrt ist. Die Töpfe, deren Erde stets hinreichend feucht zu erhalten ist, stellt man unter Zinkblechrezipienten auf. Völliger Lichtausschluß ist selbstverständlich. Temperatur ca. 20° C. Es wird stets eine nicht zu geringe Anzahl von Samen ausgesät. Haben die oberirdischen Keimteile 2 oder 3 cm Länge erreicht, so entfernt man die nicht normal und völlig gerade gewachsenen Keimlinge. Etwa 6 recht gleichartig entwickelte Keimlinge, die sich bei den anzustellenden Versuchen nicht gegenseitig beschatten können, bleiben in jedem Topf stehen. Setzt man die Untersuchungsobjekte nunmehr in der heliotropischen Kammer der einseitigen Lichtwirkung (diffusem Licht) aus (vergl. Fig. 129), dann treten in wenigen Stunden schöne heliotropische Krümmungen auf.

Fig. 129. Heliotropische Kammer.

Will man das (übrigens träge) heliotropische Verhalten der etwa 6 cm langen Epikotyle in Blumentöpfen kultivierter Phaseoluskeimlinge beobachten, so werden die im Dunkeln erzogenen Untersuchungsobjekte derartig in einem Kasten, dessen Vorderwand mit einem längeren vertikalen Spalt versehen ist, orientiert, daß eine ihrer Flanken den einfallenden Lichtstrahlen zugewandt ist (vergl. unter 178).

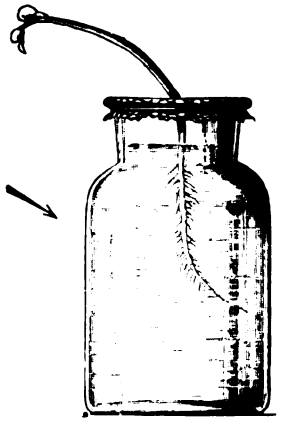


Fig. 130. Keimpflanze von Sinapis alba. Das Hypokotyl ist positiv, die Wurzel negativ heliotropisch gekrümmt.

b) Negativer Heliotropismus. Nur wenige Pflanzenteile reagieren unter dem Einfluß diffusen Lichtes negativ heliotropisch. Wir füllen ein kleines Glas, über dessen Mündung ein Stück engmaschigen Tülls festgebunden ist, völlig mit Brunnenwasser an, befestigen einige in Sägespänen zur Entwickelung gebrachte Pflänzchen von Sinapis alba mit Watte in den Maschen des Tülls und stellen das Gefäß einen Tag lang unter einer Glasglocke ins Dunkle. Später gelangt dasselbe in einen mit längerem vertikalen Spalt versehenen Kasten. Bei der einseitigen Beleuchtung krümmen sich die Keimteile bald; das Hypokotyl der Keimlinge reagiert positiv, die Wurzel derselben aber negativ heliotropisch. (Vergl. Fig. 130.)

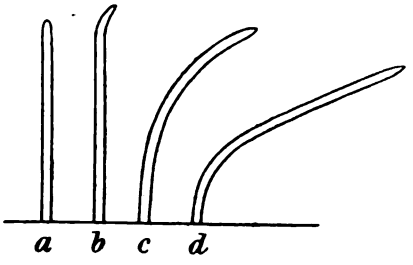
c) Wirkung künstlichen Lichtes. Weizenkeimlinge mit 2 cm langer Plumula werden in der heliotropischen Kammer dem Licht ausgesetzt, welches ein Auer-Gasbrenner aussendet. Zwischen Flamme und Apparat schalten wir ein parallelwandiges, mit Wasser angefülltes

n. Nach ca. 2 Stunden sind schöne heliotropische Krümmungen e gekommen.

Wirkung farbigen Lichtes. Wir experimentieren mit ;en von Triticum, Avena oder Lepidium, welche 2 cm lange che Teile entwickelt haben. Die im Dunkeln in kleinen Blumen- :wachsenen Keimlinge gelangen in eine heliotropische Kammer, ı Vorderwand, wie Fig. 131 zeigt, ein parallelwandiges Glas- ıgebracht ist, das eine Lösung von doppeltchromsaurem Kali .pferoxydammoniak enthält. Im gemischten gelben Licht tritt n gegebenen Bedingungen gar keine, im gemischten blauen Licht eine energische heliotropische Krümmung ein. Bei den früher angestellten Versuchen war die zur Wirkung kommende Licht- t offenbar eine geringe gewesen. Neuerdings führte ich Experi-

Fig. 131.

Fig. 132.



131. Heliotropische Kammer.
132. Plumula von Avena in verschiedenen Stadien heliotropischer ıg. *a* Beginn, *b* nach $1^1/_2$, *c* nach $3^1/_2$, *d* nach $7^1/_2$ Stunden. (Nach .)

ı recht hellem diffusen Licht mit heliotropischen Kammern aus, ırtikaler Spalt ca. $3^1/_2$ cm lang und ca. $1^1/_2$ cm breit war. Im en blauen Licht krümmten sich Lepidium- und Haferkeim- wenigen Stunden stark. Im gemischten gelben Licht zeigten 'erkeimlinge in gleicher Zeit schwache Krümmung; von den ıkeimlingen blieben einige gerade, andere krümmten sich schwach.

Reizschwelle. An einem trüben Tage stellen wir eine helio- ı Kammer ca. 5 m entfernt vom Fenster derartig auf, daß der ır Rückwand des Zimmers zugekehrt ist. Das sehr schwache em Weizenkeimlinge mit ca. 2 cm langer Plumula ausgesetzt ruft in 8 Stunden keine oder nur schwache heliotropische Reaktion Untersuchungsobjekten hervor.

215. Spezielleres über heliotropische Krümmungen.

Krümmungsmodus. Haferkeimlinge mit ca. 2 cm langer die in der unter 214a angegebenen Weise kultiviert worden igen nach ca. 2 Stunden ganz schwache Krümmung an ihrer wenn sie in einer heliotropischen Kammer verweilen. Etwas ıt die Krümmung weiter nach abwärts gerückt. Bringen wir dem noch vertikalen Teil der Plumula dicht unter der ge- n Region einen Tuschestrich als Marke an, dann finden wir nach ın 6 Stunden die markierte Stelle gekrümmt. Die Krümmungs- kt fernerhin noch weiter nach abwärts, während sich der obere Plumula, der sich dem Licht zugewandt hat, völlig gerade Der wesentliche Verlauf der Krümmung ist in Fig. 132 nach

Rothert dargestellt. Der Winkel, den der vordere Teil der Plumula mit der Vertikalen bildet, kann schließlich ca. 75° betragen. 90° werden infolge der Gegenwirkung des Geotropismus nicht erreicht Empfehlenswert ist es ferner, um sich genauer über den Verlauf der heliotropischen Krümmung zu orientieren, Haferkeimlinge, die $1^1/_2$, 3—4, 7—8 Stunden in der Kammer verweilt haben, abzuschneiden und die jeweilige Krümmung der auf weißes Papier gelegten Plumula durch Abzeichnen zu fixieren.

b) Wachstum und heliotropische Krümmung. In Sägespänen kultivierte Haferkeimlinge mit 3 cm langer Plumula werden in Entfernungen von je 2 mm mit Tuschestrich versehen. (Methode vergl. unter 172.) Man nimmt die Keimlinge dazu aus den Sägespänen heraus, bedeckt ihre Wurzeln während des Markierens mit feuchter Watte und pflanzt die Untersuchungsobjekte vorsichtig in die Erde ein. Nach $6^1/_2$-stündigem Aufenthalt in der heliotropischen Kammer betrug die Länge der Zonen 2,2 (Spitze) 2,5, 2,5, 2,5, 3,0, 2,2, 2,2, 2,2, 2,2, 2,0, 2,0, 2,0 mm. Die 5. Zone war also am stärksten gewachsen, aber es war bereits an tiefer gelegener Stelle eine Krümmung vorhanden. Schließlich (nach 24 Stunden) lag die stärkste Krümmung an der Basis der Wachstumsregion der Plumula. Sämtliche wachstumsfähige Regionen der Plumula sind zu heliotropischen Krümmungen befähigt. Das Krümmungsmaximum fällt nur vorübergehend mit der Zone ausgiebigsten Wachstums zusammen; weiterhin rückt es immer weiter nach abwärts bis an die Basis der wachsenden Strecke der Plumula.

c) Perzeptionsvermögen und Reizbarkeit bei Haferkeimlingen. Einige Haferkeimlinge mit 3 cm langer Plumula werden ohne weitere Vorbereitung in eine heliotropische Kammer gebracht. Andere behandelt man ebenso, nachdem man eine 3 mm lange Region der Spitze der Plumula verdunkelt hat. Um dies zu erzielen, setzt man kleine, durch Umwickeln eines Drahtes mit Stanniol hergestellte und an ihrem oberen Ende zugekniffene Stanniolkappen auf die Spitze der Plumula. Die auf solche Art nach dem Vorgange von Darwin und Rothert behandelten Keimlinge zeigen nach 4 Stunden schwache, die Kontrollpflanzen viel stärkere heliotropische Krümmungen. Der Krümmungswinkel wird bestimmt. Die Experimente lehren, daß die Spitze der Plumula in erster Linie den Lichtreiz perzipiert; die motorisch tätige Region der Plumula wird indirekt und direkt gereizt.

d) Perzeptionsvermögen und Reizbarkeit bei Panicumkeimlingen. Samen von Panicum miliaceum (Hirse) werden auf feuchtem Fließpapier, das in einer bedeckten Kristallisierschale ruht, im Finstern angekeimt. Bei Panicum ist der oberirdische Teil der Keimlinge in Hypokotyl und Kotyledo gegliedert die 5 Tage alten Keimlinge von ca. 1 cm Länge pflanzt man in Reihen in Töpfe und bedeckt manche zur völligen Verdunkelung des Kotyledo mit 7 mm langer Stanniolkappe. Nachdem die so vorbereiteten Untersuchungsobjekte noch 12—16 Stunden im Dunkeln verweilt haben, gelangen sie 6 Stunden lang in eine heliotropische Kammer. Kontrollpflanzen stark gekrümmt; mit Kappen versehene Individuen gerade geblieben. Sieht man von Ausnahmen ab, so ergibt sich für Panicum, daß nur der Kotyledo den Lichtreiz perzipiert. Dem nicht perzeptionsfähigen, aber stark reizbaren Hypokotyl wird der perzipierte Reiz zugeleitet. Es ist dann erst motorisch tätig. Der Kotyledo von Panicum beherbergt ebenso wie die Wurzelspitzen (vergl. unter 208 e) ein Sinnesorgan.

e) Fortleitung des Reizes. Kleine Blumentöpfe werden bis

zu 2 cm unter dem Rande mit Gartenerde angefüllt. Haben sich Haferkeimlinge in der Erde so weit entwickelt, daß ihre Plumula ca. 2 cm lang geworden ist, dann bedecken wir die Untersuchungsobjekte vorsichtig mit feingesiebter, trockener Erde. Nur die Spitze der Plumula ragt ca. 3 mm aus dem Bodenmaterial hervor. Bei einseitiger Beleuchtung führt nicht nur die Spitze, sondern ebenso der in der Erde steckende, völlig verdunkelte Teil der Plumula eine heliotropische Krümmung aus. Die Erde läßt in $2^1/_2$ mm mächtiger Schicht kein Licht passieren (ROTHERT), so daß also das Zustandekommen einer heliotropischen Krümmung am unterirdischen Teil der Plumula nur durch Reizzuleitung von der beleuchteten Plumulaspitze her vermittelt sein kann.

f) Dekapitierungsversuche. Haferkeimlingen mit 2 cm langer Plumula wird mittelst eines scharfen Rasiermessers die Spitze in einer Länge von 3 mm abgeschnitten. Schwache heliotropische Krümmung tritt in 7 Stunden ein. Die Verwundung dürfte wohl sicher die Reizbarkeit des Stumpfes der Plumula beeinflussen. Bestimmt wird die Wachstumsgeschwindigkeit des Organs durch den traumatischen Reiz herabgemindert. Wenn man auf Haferkeimlinge, 5 mm entfernt von der Spitze und nahe der Basis ihrer Plumula, Tuschestriche als Marken aufträgt, bei einigen Keimlingen nun die 3 mm lange Spitze abschneidet und alle Untersuchungsobjekte verdunkelt, dann findet man z. B. nach 7 Stunden, daß der Zuwachs bei den dekapitierten Pflanzen erheblich geringer als bei den unversehrten ist. Bei letzteren ist natürlich der Zuwachs, der auf die 3 mm lange Spitzenregion entfällt, auszuschließen.

g) Unterschiede der Lichtintensität (nicht die Richtung der Lichtstrahlen) sind bei den heliotropischen Krümmungen maßgebend (OLTMANNS). Ein im Inneren geschwärzter Kasten von ca. 30 cm Länge, 17 cm Tiefe und 15 cm Höhe, dessen Rückwand entfernt werden kann, hat an seiner vorderen Wand eine Vorrichtung zur Aufnahme eines keilförmigen Glasgefäßes. Dasselbe füllt man mit Wasser an, in welchem chinesische Tusche verteilt ist. Der Glaskeil hat eine Länge von ungefähr 18 cm, die Dicke der Flüssigkeitsschicht beträgt an dem einen Ende des Keiles über 25 mm, an dem entgegengesetzten nur 3 mm. Das in die Flüssigkeit eintretende Licht passiert einen Spalt von 17 cm Länge und etwa 14 mm Breite. Im Innern des Kastens findet ein Zinkblechgefäß von etwa 20 cm Länge und 5 cm Breite Platz, nachdem in demselben Lepidium- oder Weizenkeimlinge im Dunkeln bis zu genügender Entwickelung gebracht worden sind. Wird der Kasten im Zimmer so aufgestellt, daß der Glaskeil parallel zu den Fensterscheiben liegt, dann krümmen sich die Pflanzen schief dem Ort der stärksten Lichtintensität im Kasten zu. Die Wirkung reflektierten Lichtes ist freilich im Apparat schwer auszuschließen, aber das Versuchsergebnis lehrt doch wohl, daß nicht die Richtung der Lichtstrahlen, sondern Intensitätsunterschiede des Lichtes maßgebend für das Zustandekommen der heliotropischen Krümmungen sind.

Stellt man den Apparat im Freien auf, so daß der Glaskeil horizontal liegt und die Lichtstrahlen von oben her in den Apparat eintreten, dann krümmen sich alle Keimlinge ebenfalls nach dem Ort der stärksten Lichtintensität im Kasten, also nahezu rechtwinklig zu den einfallenden Strahlen nach demjenigen Kastenende hin, an welchem sich das Keilende von geringstem Durchmesser befindet.

IV. Der Klinostat und der Zentrifugalapparat.

Der Klinostat, ein von SACHS konstruierter Apparat, dient insbesondere zur Ausschließung der einseitigen Schwerkraft- und Lichtwirkung auf Pflanzenteile, zunächst solcher, denen keine physiologische Dorsiventralität eigentümlich ist. Bei der Ausführung der Untersuchungen werden die Objekte in verschiedener Art an einer sich sehr langsam drehenden, durch ein Uhrwerk in Bewegung gesetzten Achse befestigt. Ist diese Achse vertikal gerichtet, so daß die Pflanzen in horizontaler Ebene rotieren, dann kann man selbst bei Lichtzutritt jede heliotropische Krümmung ausschließen. Geotropische Krümmungen kommen z. B. nicht zu stande, wenn die Untersuchungsobjekte in vertikaler Ebene um eine horizontale Achse langsam bewegt werden. (Näheres vergleiche weiter unten.)

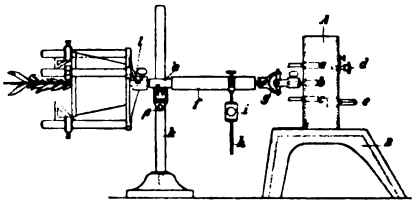
Jeder Pflanzenteil bedarf einer bestimmten Zeit (Präsentationszeit), um einen Reiz zu perzipieren. CZAPEK ist daher der Ansicht, daß die Tropismen am Klinostaten deshalb ausgeschlossen werden, weil infolge der fortwährenden Lageänderung der Objekte zu den wirkenden Kräften diese Objekte keinen Reiz perzipieren können. NOLL sucht hingegen in seiner Klinostatentheorie darzutun, wie die verschiedenen Flanken eines am Apparate rotierenden Pflanzenteiles freilich keinen kontinuierlichen, wohl aber intermittierenden Reizen ausgesetzt sind, deren Wirkungen sich bei genügend langer Rotationsdauer summieren. Einseitige Licht- und Schwerkraftwirkung (Tropismen) sind ausgeschlossen; alle Flanken der Untersuchungsobjekte werden gleichmäßig durch die wirkenden Kräfte beeinflußt. NOLL stützt sich bei seinen Ausführungen besonders auf Experimente von ELFVING. Derselbe fand, daß die Knotengelenke der Gräser, die, vertikal gerichtet, nicht mehr wachsen, wenn sie am Klinostaten langsam in der Horizontalstellung rotieren, zu wachsen beginnen. Geotropische Krümmungen erfahren die Objekte nicht, aber ein geotropischer Effekt, der sich in dem allseitig gleichmäßigen Wachstum der Knotengelenke ausprägt, wird dennoch erzielt. (SACHS, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1, S. 597, Bd. 2, S. 215; WORTMANN, Berichte der Deutschen botan. Gesellschaft, Bd. 4; CZAPEK, Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik, Bd. 32; NOLL, Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik, Bd. 34.) Die Einwirkung der Zentrifugalkraft auf Pflanzen ist zuerst von KNIGHT (Philosophical Transact., 1806, Vol. 1) studiert worden.

216. Der Klinostat.

Einen ausgezeichneten Klinostaten hat PFEFFER konstruiert. Billiger als dieser Apparat, aber doch recht leistungsfähig, ist der WORTMANNsche Klinostat (vergl. über Preis desselben etc. unter „Bezugsquellen"). Wir wollen unsere Versuche mit dem Klinostaten von WORTMANN ausführen, der seinen Apparat in der zitierten Abhandlung genau beschrieben hat. Hier sei nur folgendes bemerkt: „Der ganze Klinostat, wie ihn Fig. 133—137 darstellen, besteht aus zwei Teilen, dem Triebwerk und den Nebenapparaten. Das Triebwerk *A*, auf einem festen Fuße ruhend, besteht aus einem Uhrwerk und 3 senkrecht übereinander liegenden Rotationsachsen *a*, *b*, *c*, welche, für sich frei beweglich, durch einen Schieber *d* mit einem Rade des Uhrwerkes in Verbindung gebracht und dadurch in Rotation gesetzt werden können. Die Achse *e* dient zum Ansetzen des Uhrschlüssels.

Die Nebenapparate bestehen zunächst aus einer soliden Achse *f*, elche durch ein Knotengelenk *g* an einer der Rotationsachsen *a*, *b*, *c* ngeschraubt werden kann. Auf die Achse *f* ist ein verschiebbarer ing aufgeschraubt, welcher an einem Stift *h* ein auf diesem verschiebares Gewicht *i* trägt. Stift und Gewicht dienen als Zentrierungsvorchtung, um ein eventuelles Uebergewicht des in Rotation zu setzenen Gegenstandes zu eliminieren. ie Achse *f* ruht bei *α* auf 2 Frikonsrollen, welche an der Achse *k* ines festen Stativs in vertikaler ichtung sowohl, als auch um die chse β in horizontaler Richtung erschiebbar, resp. drehbar sind.

Fig. 133.



Auf das Ende der Achse *f* wird er Topfhalter *l* aufgesetzt, dessen enutzung ohne weiteres verständich ist.

Fig. 134.

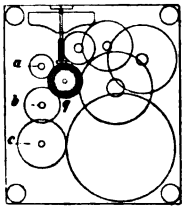
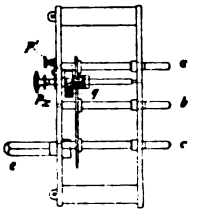


Fig. 135.



Soll nun ein Gegenstand, etwa ine in einem Topf gezogene Pflanze n Rotation versetzt werden, so verährt man folgendermaßen: Der Topf ird zunächst in den Topfhalter *L* ingesetzt und vermittelst der lessingdreiecke befestigt. Nach nschraubung der Topfhalter an die chse *f* wird dieselbe durch einen toß mit der Hand in Rotation veretzt. War nun der Topf so auf en Topfhalter aufgesetzt, daß ein ebergewicht vorhanden ist, so wird urch Verrücken des Schwerpunktes nter die Horizontale immer eine estimmte Seite des Topfes bei der ntretenden Ruhelage nach unten hen. Durch entsprechende Stellung er Zentrierungsvorrichtung wird nun das Uebergewicht eliminiert. Ist ie Zentrierung genau erreicht, so wird die Rotationsachse mit dem Uhrerk in Verbindung gesetzt. Es geschieht dies mittelst einer über der m Ansetzen des Uhrschlüssels dienenden Achse *e* liegenden, ziemlich ompli zierten Vorrichtung. (Näheres ist in Wortmanns Abhandlung zu ergleichen.) Muß an dem Beobachtungsobjekt während der Rotation gend etwas geändert werden, soll z. B. das Begießen des Topfes vorenommen werden, so ist jedesmal zuvor die Kommunikation der Rotationschse mit dem Uhrwerk zu unterbrechen.

Fig. 136.

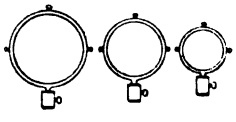


Fig. 137.

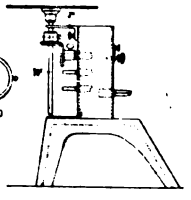


Fig. 133—137. Wortmanns Klinostat mit Nebenapparaten.

Sollen die Beobachtungsobjekte um die vertikale Achse rotieren, dann t der Klinostat in der Weise, wie es Fig. 137 zeigt herzurichten.

Die Umdrehungsgeschwindigkeiten der 3 Rotationsachsen sind verchieden und zwar so gewählt, daß ohne Belastung und bei horizontaler rehungsachse ein Umlauf von *a* in 10, von *b* in 15 und von *c* in 0 Minuten vollendet wird. Bei horizontaler Drehungsachse verträgt er Klinostat ganz gut 2 kg Belastung, bei vertikaler Achse eine solche on 5 kg."

217. Vorversuch.

Kleine Blumentöpfe von 5—6 cm Höhe und 5—6 cm Durchmesser am oberen Rande füllt man mit Komposterde an. In jeden Blumentopf legt man etwa 10 Weizenkörner ein. Diese Töpfe werden in eine Kristallisierschale gestellt, deren Boden mit Wasser bedeckt ist. Die Keimung erfolgt im Dunkeln. Wenn die Plumula der Keimlinge 15—20 mm erreicht hat, legt man einen Topf (*a*) 3 Stunden lang im Dunkeln horizontal. Topf *b* gelangt 3 Stunden lang in eine heliotropische Kammer. *c* wird im Dunkeln horizontal gelegt, aber nach Verlauf von je 4 Minuten während dieser 3 Stunden um 180° mit der Hand gedreht. *d* wird in eine heliotropische Kammer gebracht und während 3 Stunden alle 4 Minuten um 180° gedreht. Die Keimlinge von *a* und *b* krümmen sich stark geotropisch, resp. heliotropisch. Die Keimlinge von *c* und *d* krümmen sich nicht, weil durch die alle 4 Minuten vorgenommene Drehung nicht immer die nämliche Seite der Untersuchungsobjekte durch Schwerkraft- und Lichtwirkung affiziert wird.

218. Ausschließung heliotropischer Krümmungen.

In einem kleinen, mit Gartenerde angefüllten Blumentopf bringen wir bei Lichtabschluß einige Weizenkörner zum Keimen. Wenn die Plumula der Keimlinge die Erde durchbricht, stellen wir den Topf auf die horizontale Scheibe des Klinostaten, welche, wie Fig. 137 zeigt, langsam durch die vertikale Achse gedreht wird. Der Apparat ist in der Nähe des Fensters aufgestellt, und man hat darauf zu achten, daß nur wenige Keimlinge, etwa 8, im Experiment Verwendung finden, damit sich die einzelnen Individuen nicht gegenseitig beschatten. Heliotropische Krümmung der Untersuchungsobjekte erfolgt nicht, da einseitige Lichtwirkung ausgeschlossen ist.

Auch Kressekeimlinge eignen sich gut zum Versuch.

219. Ausschließung geotropischer Krümmung.

a) Pisum. Viktoriaerbsen (graugrüne) werden 16 Stunden lang angequollen, und dann etwa 8 Exemplare derselben mit Stecknadeln auf einer mit Wasser besprengten Korkscheibe befestigt. Diese Scheibe gelangt auf den, mit angefeuchteter Watte belegten Boden eines etwa 12 cm langen und 10 cm Durchmesser besitzenden Zinkblechcylinders, der durch einen Deckel verschlossen werden kann. Die Innenfläche des Cylinders ist mit feuchtem Fließpapier belegt. Wir befestigen den geschlossenen Cylinder auf dem Topfhalter des Klinostaten, dessen Rotationsachse, wie Fig. 133 zeigt, horizontal gerichtet ist. (Rotationszeit 10 Minuten.) Gute Zentrierung muß sorgfältig erzielt werden. Die genaue Horizontalstellung der Rotationsachse erreicht man am besten mittelst einer auf die Achse gelegten kleinen Libelle. Nach 2-tägiger Rotation findet man, daß die Wurzeln der Pisumkeimlinge in ihrem Wachstum nicht durch die richtende Wirkung der Gravitation beeinflußt worden sind, sondern sich, ihrer Anlage gemäß, nach verschiedenen Richtungen hin entwickelt haben.

b) Weitere Versuche mit Pisum. Viktoriaerbsen werden nach 16-stündigem Anquellen in feuchte Sägespäne gelegt. Nach 1—2 Tagen, wenn die Wurzeln 15 mm Länge erreicht haben, befestigt man die Keimlinge mit Stecknadeln auf einer Korkscheibe, die in dem unter a erwähnten Zinkblechcylinder ruht. Die recht gerade gewachsenen

Wurzeln werden derartig orientiert, daß sie parallel der horizontalen Rotationsachse gerichtet sind. Nach 24-stündiger Drehung beobachtet man an manchen Wurzeln freilich schwache Krümmungen, die aber die Wurzelspitzen nach verschiedenen Richtungen hin gewandt haben, also nicht der Schwerkraftwirkung, sondern inneren Wachstumsursachen ihre Entstehung verdanken.

c) Triticum. 10 Weizenkörner werden in gute Komposterde eingelegt, mit der ein kleiner Blumentopf angefüllt ist. Wenn die Plumula die Erde durchbricht, drücken wir diese etwas fest und schieben die Töpfe in die entspechend weite Oeffnung einer Korkscheibe, die ihren Platz im schon erwähnten Zinkcylinder findet. Nach 6—24-stündiger langsamer Rotation des Cylinders an der horizontalen Klinostatenachse finden wir folgendes. Die Plumula einiger Keimlinge ist fast gerade fortgewachsen. Die Plumula anderer Keimlinge erscheint mehr oder weniger gekrümmt, aber nach verschiedenen Richtungen hin. Legt man einen mit Weizenkeimlingen beschickten Blumentopf im Dunkeln horizontal, ohne ihn zu drehen, so hat sich die Plumula sämtlicher Untersuchungsobjekte nach kurzer Zeit sehr stark aufwärts gekrümmt.

220. Autotropismus (Rektipetalität).

Ein kleiner Blumentopf, in dem sich Weizenkeimlinge mit ca. 20 mm langer Plumula entwickelt haben, wird $1^1/_2$ Stunde lang im Dunkeln horizontal gelegt. Negativ geotropische Krümmung deutlich. Nun Rotation des Topfes im Zinkcylinder am Klinostaten, wie unter 219 c. Nach 24 Stunden ist die Plumula mancher Keimlinge fast gerade; alle Keimlinge sind nach sehr verschiedenen Richtungen hin gewachsen. Durch die Rotation sind die geotropischen Krümmungen ausgeglichen, und die Keimlinge haben die ihren inneren Wachstumsursachen gemäßen Wachstumsrichtungen eingeschlagen. Damit ist ihr Autotropismus erwiesen.

221. Ausschließung geotropischer und heliotropischer Krümmungen bei Lichtzutritt.

Ein Blumentopf, in welchem sich Weizenkeimlinge mit 2 cm langer Plumula entwickelt haben, wird auf dem Klinostaten befestigt. Die Achse des Apparates (auch die Plumula der Keimlinge) steht parallel zum Fenster und rechtwinklig zu den einfallenden Lichtstrahlen. Nach 5-stündiger langsamer Rotation finden wir die Plumula mancher Keimlinge noch fast gerade gestreckt, diejenige anderer nach verschiedenen Richtungen hin gekrümmt. (Wirkung innerer Reize.) Setzen wir Weizenkeimlinge in horizontaler Lage einseitiger Beleuchtung aus, ohne die Untersuchungsobjekte langsam zu drehen, dann krümmt sich die Plumula infolge kombinierter Licht- sowie Schwerkraftwirkung nach vorn (dem Licht entgegen) und aufwärts.

222. Heliotropische Krümmungen bei Ausschluß geotropischer.

Haferkeimlinge werden in einem Blumentopf so weit kultiviert, daß ihre Plumula 2—3 cm Länge erreicht hat. Da die Keimlinge sehr stark heliotropisch empfindlich sind, ist besondere Sorgfalt auf Verdunkelung des Raumes zu legen, in welchem sie sich ausbilden. Nachdem wir die Erde im Topf etwas angedrückt und Sperrhölzer auf dieselbe gelegt haben, befestigen wir denselben auf einem der in Fig. 136 abgebildeten Ringe, welcher dann der rechtwinklig zum Fenster gerichteten Rotations-

achse des Klinostaten aufgesetzt wird. Der ganze Apparat findet in einem großen Kasten Platz, dessen Innenwände mit mattschwarzem Papier überklebt sind. Die Vorderwand des Kastens fehlt, so daß die Keimlinge rechtwinklig von den Lichtstrahlen getroffen werden. Bei 0° C sind nach einigen Stunden sehr schöne heliotropische Krümmungen an den Untersuchungsobjekten zu beobachten.

223. Eigenwinkel der Nebenwurzeln 1. Ordnung.

In Sägespänen kultivierte Keimlinge von Phaseolus multiflorus, deren Hauptwurzel oben hervorzubrechen beginnt, befestigen wir auf der Korkplatte eines Zinkblechcylinders (vergl. unter 219 a), der auf dem Klinostaten in langsame Rotation versetzt wird. Regulierung der Feuchtigkeitsverhältnisse im Cylinder wie unter 219 a. Die Samen werden noch mit feuchter Watte umgeben. Temperatur beim Versuch 20° C. Nach je 12 Stunden sind die Keimlinge mit Wasser zu besprengen. Im Laufe einiger Tage brechen Nebenwurzeln 1. Ordnung aus den Hauptwurzeln hervor. Wir bestimmen den Winkel (Eigenwinkel), den diese Nebenwurzeln mit der Hauptwurzel bilden, und finden, daß derselbe recht verschiedenartig ausfallen kann. Die Nebenwurzeln, welche am Hypokotyl entspringen, bilden mit der Hauptwurzel einen stumpfen, diejenigen, welche an der Basis der Hauptwurzel hervortreten, mit dieser einen rechten Winkel. Der Eigenwinkel der der Wurzelspitze noch näheren Nebenwurzeln ist ein spitzer, weicht aber nicht erheblich von 90° ab.

224. Experimente mit Phleum pratense.

Ein mit Brunnenwasser durchtränkter Torfwürfel von einigen Centimetern Kantenlänge verweilt zur Sterilisierung etwa $^1/_2$ Stunde lang in siedendem Wasser. Der Würfel wird nunmehr über einen 50 cm langen Metallstab geschoben, dessen eines Ende an Stelle der Achse *f* an dem Knotengelenk *g* des Klinostaten (vergl. Fig. 133) befestigt ist, während sein anderes Ende auf der Friktionsrolle ruht. Unter der langen Achse des Klinostaten findet eine Wasser enthaltende Zinkschale von 50 cm Seitenlänge Platz. Ein Glaskäfig, durch den die Rotationsachse quer hindurchgeht, und der in das Wasser der Zinkschale eintaucht, dient dazu, die Luft in der Umgebung des Torfwürfels feucht zu erhalten. Der Käfig besteht aus einem Zinkgestell, welches an den zwei Seiten, wo die Achse hindurchgeht, Schlitze besitzt, die nach völliger Zusammenstellung des Apparates mit feuchtem Fließpapier verschlossen werden können. Vorder- und Rückwand des Käfigs, sowie das Dach desselben werden von Glasplatten gebildet. Der Apparat wird am Fenster eines Raumes, in welchem eine Temperatur von ca. 18° herrscht, derartig aufgestellt, daß die Rotationsachse parallel zu den Fensterscheiben gerichtet ist. Vor der Zusammenstellung des Apparates besäen wir jede Fläche des Torfwürfels, abgesehen von den beiden Seitenflächen, mit 6 Körnern von Phleum pratense. Die Plumula der Keimlinge reagiert stark heliotropisch und geotropisch, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man Phleum bei Lichtzutritt auf einem Torfwürfel zur Keimung bringt, der in einer bedeckten Kristallisierschale ruht. Bei dem Experiment mit dem Klinostaten finden wir, daß die Keimlinge in 6 Tagen auf allen besäten Seiten der Torfwürfels zur Entwickelung gekommen sind. Die Plumula der Keimlinge ist senkrecht zum Substrat gerichtet. (Näheres über diese Erscheinung vergl. namentlich bei Dietz, Untersuch. aus dem botan. Institut zu Tübingen, Bd. 2.)

225. Der Zentrifugalapparat.

a) Einfacher Apparat. Den wichtigsten Teil des Apparates ıt die ca. 50 cm lange Messingachse *A*, welche die 40 mm Durch- er besitzende Zinkscheibe *Z* trägt, an der sechs 3 cm breite und ːm lange Metallflügel angelötet sind (vergl. Fig. 138). Der Achse erner am entgegengesetzten Ende eine Holzscheibe *H* von 140 mm ːhmesser aufgeschraubt, auf der noch eine Korkplatte ruht. Der ring *Zr* ist an dem Rande der Holzscheibe befestigt, ragt aber über ɔn hervor und kann benutzt werden, um einem an einem Ende ver- ɔssenen, als Deckel dienen- Zinkcylinder von ca. 11 cm ge Halt zu gewähren. In Abbildung trägt die Holz- ːbe *H* eine Glasglocke *K*. Achse *A* ruht bei *b* in einem ɔr. Bei *c* liegt ein zweiter ɔrstützungspunkt für die ːe, deren Ende hier zuge- ːt ist. Wie unsere Abbildung ː, dient zur Aufnahme der hriebenen Vorrichtung ein ːen. Derselbe ist ca. 15 cm , 27 cm breit und 41 cm lang. elcher sich die Flügel bewegen sollen, sind mit Zinkplatten ausge- kleidet. In der Vorderwand befindet sich eine Oeffnung, welche mittelst eines durch- bohrten Korkes verschlossen wird. In der Bohrung steckt ein Glasrohr, dessen den Flügeln zugekehrtes Ende etwas ausgezogen ist, während über das andere Ende ein mit der Wasserleitung in Verbindung stehender Schlauch gezogen werden kann. Es ist nun bei einigermaßen starkem Druck des Wassers in der Leitung, indem man einen Wasser- strahl auf die Flügel einwirken läßt, eine 200—300malige Rotation der Vorrichtung in der Minute zu erzielen. Zur Verhütung des Umherspritzens des Wassers wird die kleinere Abteilung des Kastens mittelst eines gewölbten Holzdeckels verschlossen. Das von den Metallflügeln ab- tropfende Wasser fließt durch ein Loch im Boden des Kastens direkt in den Ausguß der Wasser- leitung, auf welchem der Appa- rat Platz gefunden hat.

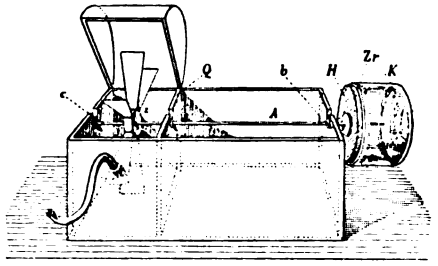


Fig. 138. Zentrifugalapparat.

Fig. 139. Zentrifugalapparat.

b) Zentrifugalapparat für speziellere Untersuchungen. leistungsfähigerer Zentrifugalapparat, mit Hülfe dessen man z. B. Blumentöpfe, in denen in Erde wurzelnde Pflanzen kultiviert worden einer schnellen Rotation aussetzen kann, ist auf meine Veranlassung G. Tegtmeier, früher Mechaniker am physikalischen Institut zu Jena, truiert worden. Preis des Apparates 70 M.
In Fig. 139 ist der Apparat in der Weise, wie er sich uns bei kal gerichteter Rotationsachse darstellt, abgebildet.

Auf dem schweren Brett *B* ist die Metallsäule *M* befestigt. Neben dieser befindet sich der Achsenhalter *Ah*. Derselbe kann mittelst der Schraube *Sch* und des Stiftes *St* unverrückbar an *M* befestigt werden, wenn die Rotationsachse vertikal stehen soll. Diese Achse hat eine Länge von 20 cm. Bei *a* ruht sie auf einer in der Abbildung nicht sichtbaren Spitze; bei *b* findet sich ein Lager für die Achse. Ueber die Scheibe *c*, welche mit der Rotationsachse fest verbunden ist, kann eine Schnur ohne Ende gelegt werden. Der Achsenhalter ist bei *d* mit einer Bohrung versehen. In derselben steckt das untere, mit einer sehr feinen Oeffnung versehene Ende des Metallrohres *Mr*. In dieses Rohr gießt man etwas Oel, damit das Lager der Achse auch bei schneller Rotation derselben stets hinreichend eingefettet bleibt. Dem Achsenende bei *a* ist ebenfalls ab und an etwas Oel zuzuführen. Hat man den Apparat lange Zeit nicht gebraucht (er ist an einem möglichst staubfreien Ort aufzubewahren), so muß er bei *a* und *b* von etwa eingetrocknetem Fett befreit werden. Petroleum leistet für diesen Zweck sehr gute Dienste.

An der Achse ist nun die ca. 17 cm Durchmesser besitzende Metallscheibe *Msch* befestigt. Diese Scheibe, in Fig. 140 von oben gesehen abgebildet, ist in der Nähe ihrer Peripherie mit 3 Ausschnitten versehen, in denen die 3 Topfhalter verschiebbar sind. Jeder dieser Topfhalter besteht aus einem vertikalen Metallstab, der an der Basis, wie es in Fig. 140 bei *x* zu sehen ist, eine Metallplatte trägt, einer unter der Rotationsscheibe vorhandenen Schraube (die 3 Schrauben der Halter sind mit *q*, *r* und *s* bezeichnet) zum Festklemmen der Halter und aus einem Schieber (die Schieber sind mit *t*, *u*, *v* bezeichnet) zum Festhalten der Blumentöpfe, die man auf den Apparat gestellt hat. Soll die Rotation der Pflanzen nicht in horizontaler, sondern in vertikaler Ebene erfolgen, um jede Schwerkraftwirkung auszuschließen, so muß die Rotationsachse horizontal gelegt werden. Dies erreicht man, indem man die Schraube *Sch* lockert, den Stift *St* entfernt, den Achsenhalter um 90° dreht, so daß sein Ende auf dem in Fig. 139 durch punktierte Linien angedeuteten, senkrecht auf dem Brett *B* stehenden Metallstab ruht, und die Schraube *Sch* wieder fest anzieht. Sollen die Pflanzen im Blumentopf bei der Rotation dem Lichteinfluß entzogen werden, dann bedient man sich eines hinreichend hohen Zinkblechrezipienten, dessen Mantel nahe am offenen Ende mit 3 Löchern versehen ist, durch welche die in Fig. 140 durch *h*, *i*, *k* bezeichneten Schrauben der Rotationscheibe zur Befestigung des Cylinders geführt werden können.

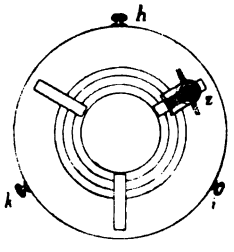


Fig. 140. Rotationsscheibe des in Fig. 139 dargestellten Zentrifugalapparates. Die Scheibe ist von oben gesehen.

Beim Gebrauch wird der Zentrifugalapparat auf eine Tischplatte gestellt, die am besten auf in der Wand befestigten eisernen Trägern unverrückbar ruht, und auf der Tischplatte mittelst Schrauben befestigt. Diese letzteren sowie auch alle übrigen Schrauben am Apparat sind sehr fest anzuziehen, damit sie sich bei schneller Rotation desselben nicht lockern. Der Zentrifugalapparat wird mit Hülfe eines Wassermotors in Bewegung gesetzt, dem man mittelst eines an den Ausflußhahn der Wasserleitung angeschraubten Hanfschlauches das erforderliche Wasserquantum zuführt. Der Motor steht mit dem Zentrifugalapparat mittelst

einer Schnur ohne Ende in Verbindung, und es kann leicht eine bedeutende Rotationsgeschwindigkeit des letzteren (4—5 Umdrehungen in der Sekunde) erzielt werden.

226. Experimente mit dem Zentrifugalapparat.

a) Erbsenkeimlinge. Ein mit Deckel versehener Zinkblechcylinder von ca. 11 cm Höhe und 13 cm Durchmesser wird mittelst der Topfhalter auf dem unter 225 b beschriebenen Apparat befestigt. Auf dem Cylinderboden findet eine mit Wasser durchfeuchtete und mit durchfeuchteter Watte belegte Korkplatte Platz, und man kleidet die Innenwände des Cylinders mit feuchtem Fließpapier aus. Hat man auf der Korkplatte mittelst Stecknadeln Erbsenkeimlinge mit 2 cm langen Wurzeln befestigt, so beginnt das Experiment. Wir können auch den in Fig. 138 abgebildeten Zentrifugalapparat benutzen. Die Keimlinge werden zweckmäßig nahe dem Umfang der Korkplatte derartig befestigt, daß ihre Wurzeln parallel zur horizontalen Rotationsachse gerichtet sind. Das Versuchsergebnis tritt bereits nach etwa 3-stündiger Rotation deutlich hervor, indem dann die wachsenden Wurzelenden, mögen die Wurzeln ursprünglich parallel oder in anderer Art zur Achse orientiert gewesen sein, sämtlich nach außen gekrümmt sind, so daß ihre wachsenden Spitzen nunmehr einen rechten Winkel mit der Rotationsachse bilden (vergl. Fig. 141).

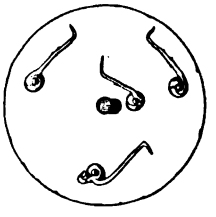


Fig. 141. Keimlinge von Pisum, deren Wurzelspitzen sich infolge schneller Rotation der Scheibe eines Zentrifugalapparates um eine horizontale Achse gekrümmt haben.

b) Kresse- und Weizenkeimlinge. Wir kultivieren Kressekeimlinge oder Weizenkeimlinge bei Lichtabschluß in Blumentöpfen, legen Sperrhölzer auf die Bodenoberfläche, legen feuchtes Fließpapier auf die Scheibe *Mech* des in Fig. 139 dargestellten Apparates, stellen einen Blumentopf genau mitten auf die Scheibe, befestigen ihn sorgsam mit Hülfe der Topfhalter und beginnen den Versuch. Nach 2—3-stündiger Rotation haben sich die Keimlinge bereits dem Zentrum der Scheibe zu gekrümmt.

V. Verschiedene weitere Tropismen.

Die Pflanzen reagieren nicht nur auf Schwerkraft- und Lichtwirkungen durch Wachstumskrümmungen, sondern es können auch anderweitige Einflüsse, wenn sie sich auf den antagonistischen Seiten in quantitativ verschiedener Art geltend machen, solche Nutationen bedingen. Wir sehen hier von den galvanotropischen sowie thermotropischen Reaktionen ab. Sehr wichtig ist der Hydrotropismus. (Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, Bd. 1 u. Wortmann, Botan. Zeitung, 1881.) Rheotropische Krümmungen (Juel, Jahrbücher für wissensch. Botanik, Bd. 34) werden durch Wasserströmungen bedingt. Traumatropismus (Darwin, Bewegungsvermögen der Pflanzen, 1881) kommt z. B. zu stande, wenn die Spitze mancher Wurzeln einseitig verletzt wird. Auch reagieren viele Wurzeln auf Kontaktreiz (Thigmotropismus [Sachs]). Von großer biologischer Bedeutung erscheint es, wie ohne weiteres einleuchtet, daß die Pollenschläuche vieler Pflanzen unter gewöhnlichen Umständen negativ

aërotropisch und auch chemotropisch reagieren. (Molisch, Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. in Wien, Bd. 102, u. Miyoshi, Botan. Zeitung, 1895, u. Flora, 1894.)

227. Positiver Hydrotropismus der Wurzeln.

Der erforderliche Apparat ist in Fig. 142 im Durchschnitt dargestellt. Ein Reifen von starkem Zinkblech (*aa*), von etwa 5 cm Höhe und 20 cm Durchmesser, wird mit weitmaschigem Tüll derartig überspannt, daß man ein Sieb erhält, dessen poröser Boden von dem Tüll gebildet wird. Man füllt das Sieb mit feuchten Sägespänen an und legt in diese Samen von Phaseolus, Pisum oder Zea. Der Apparat wird an 3 Bindfäden in einem Schrank oder unter einem großen Pappkasten schief aufgehängt, so daß der Siebboden etwa unter 45° gegen den Horizont geneigt ist. Die sich bei völligem Lichtabschluß und in der nicht völlig dampfgesättigten Atmosphäre entwickelnden Wurzeln der Keimlinge treten alsbald aus den Tüllmaschen hervor; sie wachsen aber nicht gerade nach abwärts, sondern sie wenden sich der Unterfläche des Tülls zu und wachsen, dieser zum Teil angeschmiegt, abwärts fort. Die vom feuchten Tüll abgewandte Wurzelseite wächst schneller als die entgegengesetzte, und so kommt das positiv hydrotropische Verhalten des Organs zum Ausdruck.

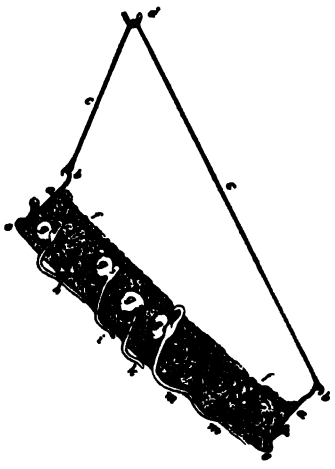


Fig. 142. Apparat für Beobachtungen über hydrotropische Wurzelkrümmungen. (Nach Sachs.)

228. Hydrotropismus von Mucor.

Pferdemist bleibt unter einer Glasglocke so lange liegen, bis sich eine üppige Vegetation von Mucor mucedo entwickelt hat. Mit den Sporen des Pilzes wird eine Brotscheibe infiziert (vergl. unter 41), die in einer flachen Glasschale ruht. Diese Schale wird mit einer Glasplatte bedeckt, welche in ihrer Mitte ein Loch von etwa 5 mm Durchmesser besitzt. Nach etwa 2 Tagen wachsen bereits Sporangienträger durch das Loch der Glasplatte hervor. Wir befestigen nun an einem Kork einen Streifen dicker Pappe mittelst Siegellackes, durchtränken den Pappstreifen mit Wasser und stellen ihn in unmittelbarer Nähe der erwähnten Sporangienträger auf. Die ganze Vorrichtung wird jetzt, wie auch schon früher nach der Aussaat der Mucorsporen, mit einem Papprezipienten bedeckt. Nach Verlauf von etwa 24 Stunden hat die Länge der Sporangienträger erheblich zugenommen, und es ist leicht wahrzunehmen, daß sie nicht senkrecht emporgewachsen sind. Sie erscheinen vielmehr negativ hydrotropisch gekrümmt; ihre konvexe Seite ist dem feuchten Pappstreifen zugewandt.

229. Traumatropismus der Wurzeln.

Wir experimentieren mit Keimpflanzen von Vicia Faba, die sich in Sägespänen entwickelt haben, und deren Wurzeln 3 cm lang sind. Nun reizen wir eine der Wurzelflanken, indem wir eine 1,5 mm lange (nicht längere) Strecke der Wurzelspitze mit Höllensteinstückchen betupfen.

Die Untersuchungsobjekte werden in der Weise, wie es unter 172 angegeben worden ist, in einem Glascylinder befestigt und im Dunkeln sich selbst überlassen. Die Wurzeln tauchen in Wasser ein. Nach 12—24 Stunden findet man, daß diejenige Wurzelflanke, welche durch Höllenstein gereizt worden war, konvex gekrümmt ist. Auf der gereizten Seite ist das Wachstum in der wachstumsfähigen Region der Wurzel beträchtlich lebhafter als auf der antagonistischen Seite, so daß sich das Organ also von dem die Verletzung bedingenden Körper wegwendet.

230. Wirkung von Kontaktreiz auf Wurzeln (Thigmotropismus).

Auf Nadeln aufgespießte Erbsenkeimlinge mit etwa 3 cm langen Wurzeln werden in der Weise, wie es unter 208 angegeben worden ist, unter einer Glasglocke auf einem Kork befestigt. Neben jeder horizontal gerichteten Wurzel bringt man noch eine dünne Nadel an, welche das Organ nicht an seiner Spitze, sondern in seiner am lebhaftesten wachsenden Region (also etwa 3 mm entfernt von der Spitze) berührt. Der Kontakt wirkt ebenso wie bei den Ranken als Reiz, und indem die nicht berührte Wurzelseite infolge lebhafteren Wachstums konvex wird, krümmen sich die Wurzeln im Laufe einiger Zeit den Nadeln zu. Bei über 20° C ist solches schon nach 6 Stunden zu konstatieren.

231. Rheotropismus.

Samen von Vicia sativa werden nach 24-stündigem Anquellen derartig in feuchte, sehr locker aufgeschichtete Sägespäne gelegt, daß ihre Wurzeln beim Austritt aus den Samen ohne Krümmungen ausführen zu müssen, direkt nach abwärts wachsen. Haben die Wurzeln einige Centimeter Länge erreicht, so sind sie zum Versuch geeignet. Auf die horizontal gerichtete Scheibe des Klinostaten, der in 15 Minuten eine Umdrehung vollzieht, stellen wir eine große Kristallisierschale von 22 cm Durchmesser. In dieser Schale findet eine andere von 14 cm Durchmesser Platz. Den Raum zwischen beiden Gefäßen füllen wir mit Wasser an und legen in die kleinere Schale Gewichte, um dieselbe niederzudrücken. Etwas über den Gefäßen ruht, von einem Stativ festgehalten, eine große Holz- oder besser Korkplatte. An der Unterseite der Platte sind die Viciakeimlinge mit Hülfe von Stecknadeln befestigt. Die von der Samenschale umgebenen Kotyledonen werden mit etwas feuchter Watte bedeckt. Die Wurzeln tauchen derartig in das Wasser ein, daß eine ihrer Flanken, wenn der Klinostat in Gang gesetzt wird, dem Wasserstrom zugewandt ist. Der ganze Apparat befindet sich im Dunkeln, z. B. unter einem großen Pappkasten. Nach Verlauf von 24 Stunden haben sich die wachsenden Enden der Wurzeln gegen den Wasserstrom gerichtet. Unter den eingehaltenen Bedingungen lassen die Viciawurzeln also positiven Rheotropismus erkennen. (Versuch von Markuse in meinem Praktikum, nach Juel.)

232. Aërotropismus der Pollenschläuche.

Die Entwickelung von Pollenschläuchen erfolgt sehr gut in Rohrzuckerlösung von bestimmter Konzentration. Für einige Pollenarten sind z. B. folgende Konzentrationen ermittelt worden: Allium victoriale 3 Proz., Rohrzucker, Anthyllis vulneraria 15 Proz., Berberis vulgaris 20 Proz., Colchicum autumnale 40 Proz., Digitalis ambigua 10 Proz., Fritillaria imperialis 10 Proz., Narcissus poeticus 10 Proz., Vincetoxicum officinale 15 Proz. Die Zuckerlösungen werden unter Zusatz von 1—2 Proz. Gela-

tine hergestellt. Solche Lösungen erstarren bei 18 ° C zu einer zitternden Gallerte. Ein Tropfen der Lösung gelangt auf einen Objektträger und wird mit frischen Pollenkörnern versetzt, die man schnell mittelst einer Nadel recht gleichmäßig im Tropfen verteilt. Nun legt man ein Deckglas auf, wobei darauf zu achten ist, daß keine Flüssigkeit über den Rand des Deckglases heraustritt. Auch die Bildung von Luftgasen ist tunlichst zu vermeiden. Die Objektträgerkulturen gelangen bei 18° C unter eine durch Wasser abgesperrte Glasglocke. Ausgezeichnete Untersuchungsobjekte sind z. B. Pollenkörner von Narcissus Tazetta (7-proz. Rohrzuckerlösung), von anderen Narcissusarten (10 Proz. Rohrzucker), von Lathyrusspecies (15 Proz. Rohrzucker). Schon z. B. nach 6 Stunden sind viele Pollenkörner gekeimt. Aber nur die Körner in der Nähe des Deckglasrandes haben Schläuche entwickelt; die übrigen sind infolge von Sauerstoffmangel überhaupt nicht gekeimt. Die Schläuche wachsen fast sämtlich der Mitte des Tropfens zu; sie lassen ein ausgeprägt negativ aërotropisches Verhalten erkennen.

283. Chemotropismus der Pollenschläuche.

Chemotropisch reagieren besonders die Pollenschläuche von Narcissus, Fritillaria und Vincetoxicum. Wir verteilen Pollenkörner im Zuckergelatinetropfen von geeigneter Konzentration und legen in die Mitte desselben einige kleine Stückchen frisch abgeschnittenen Narben- oder Griffelgewebes der betreffenden Pflanze. Der Objektträger bleibt ohne Deckglas. Im feuchten Raum unter einer Glasglocke keimen die Körner, und die in der Nähe der Narben- oder Griffelstücke zur Entwickelung gelangenden Schläuche wenden sich, da sie ein positiv chemotropisches Verhalten zeigen, diesen Stücken zu. Tötet man die Narbenstücke durch Eintauchen in heißes Wasser, bevor man sie auf den Zuckergelatinetropfen legt, so verhalten sich die Pollenschläuche ebenso, wie es bereits angegeben wurde. Hierdurch ist festgestellt, daß die bezeichnete Wachstumsrichtung der Schläuche im vorliegenden Falle nicht Folge ihrer aërotropischen Reizbarkeit sein kann, denn die toten Gewebemassen produzieren, was die lebendigen ja tun, keine Kohlensäure, die von Einfluß auf die Verteilung der Sauerstoffspannung im Präparat sein könnte. (Molisch, Miyoshi.)

VI. Nyktitropische Bewegungen wachsender Pflanzenteile.

Viele Laub- und Blumenblätter ändern mit wechselnden Beleuchtungs- und Temperaturverhältnissen ihre Stellungen in sehr auffallender Weise. Ihre Nacht- oder Schlafstellung ist eine durchaus andere, als ihre Tagesstellung. Manche Organe reagieren in erster Linie auf den Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse (sie sind auf Licht in bestimmter Intensität gestimmt), andere mehr auf Temperaturschwankungen. Viele Forscher, zumal Darwin, haben die nyktitropischen Erscheinungen sehr eingehend beschrieben; Pfeffer verdanken wir in erster Linie Studien über die Ursachen der Phänomene, und Stahl hat die biologische Bedeutung derselben näher ermittelt. Die hier zu besprechenden Erscheinungen gehören, wie Jost richtig betont, tatsächlich nicht zu der Gruppe der

ropismen, sondern zu derjenigen der Nastien; sie sind keine Richtungs-, ndern Krümmungsbewegungen.

Nyktitropische Bewegungen führen jugendliche, im Wachstum beriffene Blattgebilde sowie auch ältere Blätter, die mit Gelenken verehen sind, aus. Die Variationsbewegungen der letzteren behandeln wir rst später. Bei den durch Wachstum vermittelten nyktitropischen Bewegungen mancher Kotyledonen, vieler Laub- und Blütenblätter stellen ich die Organe nachts meist nahezu senkrecht, mit ihrer Spitze nach uf- oder abwärts; am Tage nehmen sie eine mehr oder minder horizontale tellung ein. Durch den Wechsel der Beleuchtungs- und Temperaturerhältnisse, der als Reiz wirkt, wird das Wachstum der antagonistischen eiten der die Bewegungen vermittelnden Region des Blattstieles oder er Lamina affiziert, und dadurch kommen die erwähnten Bewegungen u stande. (Ueber Nachwirkungen vergleiche weiter unten.)

Wenn sich Blüten nachts oder bei sinkender Temperatur auch am Tage schließen, so dienen solche Vorgänge offenbar zum Schutz der Geschlechtsorgane. Bei den vereinzelt vorkommenden Blüten, die am Tage geschlossen, nachts aber geöffnet sind, wird die Bestäubung ohne Zweifel wohl stets durch in der Nacht umherfliegende Insekten vermittelt.

Die nächtliche Vertikalstellung wachsender Laubblätter (und auch diejenige der mit Gelenken versehenen Blätter) hat eine verminderte Wärmeausstrahlung und damit schwächere Betauung der Organe in der Nacht zur Folge. Solche weniger benetzte Blätter trocknen aber, wenn ie am Morgen die Tagesstellung wiedergewinnen, rascher ab als stark etaute, und ihre Transpiration muß bedeutender als diejenige der letzteren usfallen. Förderung der Verdunstung ist aber, wie wir wissen, von Wichtigkeit für schnelle Mineralstoffaufnahme. (Darwin, Das Bewegungsermögen der Pflanzen, 1881; Pfeffer, Pflanzenphysiologische Untersuchungen, 1873; Stahl, Botanische Zeitung, 1897.)

234. Verhalten von Keim- und Laubblättern.

a) Raphanus sativus. Die jungen Kotyledonen der Keimpflanzen ind am Tage horizontal ausgebreitet, nachts mehr oder minder aufgerichtet.

b) Tropaeolum. Kräftige, in Töpfen kultivierte Pflanzen von Tropaeolum majus dienen zum Versuch. Die Spreiten der jungen Blätter, m Tage horizontal gerichtet, stellen sich durch Wachstumskrümmungen n Blattstiel nachts vertikal. Dies ist aber nur bei relativ hoher Temeratur, und wenn die Pflanzen am Tage gut beleuchtet gewesen waren, er Fall.

c) Beobachtungen an anderen Blättern. Wir beobachten n Freien wachsende Exemplare von Chenopódium bonus Henricus, Mirabilis jalapa, Lythrum salicaria, Atriplex hortensis. An den jüngeren och nicht ausgewachsenen Blättern konstatieren wir, daß dieselben am Tage eine horizontale Lage besitzen, nachts richten sich diese Blätter mpor, so daß sie nun vertikal stehen, um diese Schlafstellung am nächsten Morgen wieder mit der Lichtstellung zu vertauschen.

d) Impatiens. Wir beobachten im Freien wachsende Exemplare on Impatiens parviflora oder Impatiens noli tangere sowie Exemplare on Impatiens glanduligera. In der Schlafstellung sind die Blätter ieser letzteren Pflanze vertikal mit der Spitze nach aufwärts gerichtet, ei den beiden zuerst genannten Impatiensspezies aber mit der Spitze ach abwärts gewandt.

235. Verhalten der Blüten.

Taraxacum officinale öffnet seine Blütenköpfe an sonnigen Tag
Anfang Mai zwischen 7—8 Uhr morgens, um sie nachmittags zwi
4—5 Uhr wieder zu schließen. Blüten von Tradescantia bleiben
über geöffnet, wenn der Himmel bedeckt ist; bei wolkenlosem Hi
schließen sie sich aber morgens um 10 Uhr. Blütenköpfe von T

Fig. 143. Fig. 144.

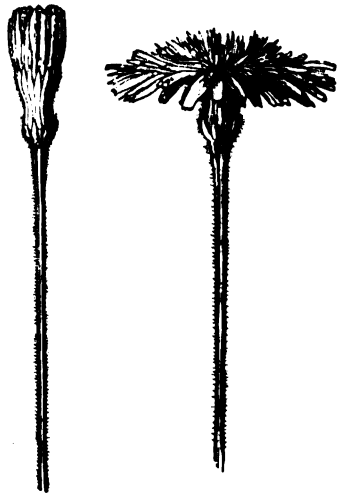


Fig. 143. Blütenschaft von Leontodon hastilis mit geschlossenem Blütenstand.

Fig. 144. Blütenschaft von Leontodon hastilis mit geöffnetem Blütenstand.

pogon pratensis sind früh morgens
im Juni schließen sie sich bei So
schein um 9 Uhr, bei bedecktem Hi
etwa um 11 Uhr. Abends schließe
die Blüten von Adonis vernalis
die Blütenköpfe von Bellis perenni
Leontodon hastilis (vergl. Fig. 14
144), um sich am nächsten M
wieder zu öffnen. Mit Bellis kann
auch bequem im Winter exper
tieren. Ausgegrabene Exemplare w
in Töpfe eingepflanzt und im Gew
haus bei mittlerer Temperatur kulti
Die Adonisblüten schließen sich
April z. B. um 3 Uhr nachmi
während das Schließen der Blüten
benachbarter Bellisexemplare erst
Stunde später erfolgt. Oenothera b
blüht abends sehr schnell auf, s
man die Ausbreitung der Kronenb
direkt verfolgen kann. Die Blüte
Linum und Calystegia Sepium
nachts geschlossen, am Tage ge
Wir beobachten auch Nicotiana
flora. Die Samen dieser Pflanze
man in Blumentöpfen an und ve
die jungen Pflanzen im Mai ins freie Land. Im Juli, wenn die P
blüht, beobachten wir, daß sich die Blätter zwischen 6 und 8
abends öffnen, während der Nacht geöffnet bleiben, um sich am näc
Vormittag je nach den Witterungsverhältnissen früher oder später w
zu schließen.

236. Nachwirkungsbewegungen.

Sehr kräftige Blütenschäfte von Leontodon hastilis werden am
abgeschnitten, mit der Basis in Wasser gestellt und ins Dunkle geb
Abends tritt Schließen der Blütenköpfe ein, dieselben öffnen sich
wieder am folgenden Tage, trotzdem die Untersuchungsobjekte kor
verdunkelt bleiben. Am nächsten Abend macht sich abermals
freilich nicht sehr ausgiebige, Schließungsbewegung geltend. Setzt
die Blütenköpfe aufs neue dem Tageslicht aus, so öffnen sich dies
um sich abends abermals in durchaus normaler Weise zu schließen.
bezeichneten Nachwirkungsbewegungen in konstanter Dunkelheit, wi
sie hier und in vielen anderen Fällen beobachten, sind freilich
ausgeprägt, aber nicht von gar langer Dauer. Die Blütenköpfe w
alsbald dunkelstarr, können aber wieder durch erneute Beleuchtu
den phototonischen Zustand zurückversetzt werden. Nach dem Ges
ist nun klar, daß die unter normalen Verhältnissen, d. h. bei W

von Tag und Nacht, stattfindenden periodischen Bewegungen der Laubblätter und Blüten nicht allein unmittelbare Folge des Beleuchtungswechsels sind. Vielmehr kombinieren sich die durch diesen letzteren erzielten paratonischen Wirkungen bei dem Zustandekommen der Tagesperiode mit Nachwirkungsbewegungen, die freilich ihren letzten Grund auch nur in dem Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse haben. Dieser Umstand macht die Tatsache verständlich, daß sich z. B. Blütenköpfe von Leontodon hastilis, die am Vormittag ins Dunkle gestellt werden, abends einige Zeit früher als solche schließen, die am Tage beleuchtet gewesen sind. Die paratonische Wirkung der Verdunkelung ist im Resultat des Experimentes freilich zu erkennen, aber die Blütenköpfe schließen sich infolge des Vorhandenseins der Nachwirkungen erst dann, wenn die Verfinsterung längere Zeit gedauert hat. In anderen Fällen können übrigens die paratonischen Wirkungen viel ansehnlicher werden.

237. Wirkung von Temperaturveränderungen.

Blüten von Tulipa Gesneriana und vor allen Dingen diejenigen von Crocus vernus (weiß blühende Varietät) reagieren sehr energisch auf Veränderungen der Temperatur. Bringt man in Blumentöpfen kultivierte Exemplare dieser letzteren Pflanze aus einem Zimmer, in welchem eine Temperatur von 19° C herrscht, in ein solches von 5° C, so schließen sich die zunächst geöffneten Blüten alsbald. In das Zimmer von 19° C zurückversetzt, öffnen sich die Blüten wieder. Die Schließungs- und Oeffnungsbewegungen der Perigonblätter gehen bei den bezeichneten Versuchen, wenn der Temperaturwechsel erfolgt, so lebhaft vor sich, daß ihr Beginn bereits nach einigen Minuten mit dem unbewaffneten Auge konstatiert werden kann. Krokosblüten reagieren übrigens auch schon auf sehr geringe Temperaturschwankungen. Bei der Tulpe erfolgt die Schließungsbewegung der Perigonblätter bei Temperaturverminderung nicht sehr schnell. Wird aber eine Pflanze mit geschlossenen Blüten aus einem Raum von 8° C in einen solchen von 16—17° C gebracht, so erscheinen die Blüten bereits nach $^1/_2$ Stunde geöffnet. Die durch Temperaturschwankungen induzierten Bewegungen machen sich sowohl bei Zutritt des Lichtes, als auch in konstanter Finsternis geltend. Auch die Blüten von Adonis vernalis und die Blütenköpfe von Taraxacum officinale reagieren in hohem Grade auf Temperatureinflüsse. Schneidet man die im Freien erwachsenen Untersuchungsobjekte an einem kühlen Maitage (8—9° C) ab und stellt sie im warmen Zimmer (18—19° C) im Dunkeln oder bei Lichtzutritt in Wasser, dann öffnen sich die Blüten resp. Blütenköpfe stets in 1—2 Stunden, während die Organe im Freien geschlossen bleiben. Gegen Abend schließen sich die Adonisblüten, mögen sie im Zimmer im Dunkeln oder im Licht verweilen (19° C), um sich am nächsten Morgen (10° C) sämtlich wieder zu öffnen.

VII. Das Winden der Schlingpflanzen und Ranken.

1) Allgemeines. Die gewöhnlichen Stengel und Stämme sind hinreichend biegungs- und druckfest gebaut, um ihre aufrechte Stellung unter normalen Verhältnissen bewahren zu können. Abweichend verhalten sich andere Stammgebilde, die zum Teil auch verholzt sind (manche Weidenarten, Arctostaphylos, Oxycoccus palustris, Thymus) oder krautigen Cha-

rakter haben (viele Jahre lang ausdauernde Stengel von Asarum, Ausläufer und Schößlinge von Vinca, Lysimachia nummularia, Ajuga reptans, Fragaria, Potentilla reptans, Glechoma hederacea). Die Pflanzen mit niederliegenden, verholzten Stammgebilden suchen sich durch ihre eigentümliche Wachstumsform vor Schneedruck, vor zu starker winterlicher Abkühlung, vor Wind und zu starker Austrocknung zu schützen, während manche (nicht alle) dem Boden angeschmiegte krautige Stengel tatsächlich zu schwach gebaut erscheinen, um sich aufrecht erhalten zu können, also das Erdreich als Stütze benutzen.

Einer Stütze bedürfen ebenfalls die Kletterpflanzen. Wir haben die vielfach mit Dornen oder Stacheln versehenen Spreizklimmer (Lycium, Rubus, Rosa, Geranium palustre, Galium aparine, Cucubalus baccifer), welche andere Pflanzen, ohne zu winden oder Ranken zu besitzen, förmlich überlagern, die Wurzelkletterer (Epheu), die Pflanzen mit windenden Stammgebilden und die rankenden Gewächse zu unterscheiden.

2) Windende Stengel. Die ersten Internodien der Schlingpflanzen, welche sich aus Samen oder unterirdischen Reservestoffbehältern entwickeln, winden gewöhnlich nicht. Dies tun erst die weiterhin zur Ausbildung gelangenden. Diese sind zunächst ebenfalls gerade gestreckt. Sie reagieren nicht auf Berührungsreize. Ihre Enden erlangen aber bald durch aktive (vielleicht diageotropische) Bewegungen eine mehr oder weniger horizontale Stellung. Ist auf solche Art die sogenannnte Vorkrümmung gebildet worden, dann kommt die Wirkung des Lateralgeotropismus (Noll) zur Geltung. Bei Pflanzen, die links winden (Phaseolus, Convolvulus, Aristolochia Sipho), d. h. von links unten nach rechts oben, wird durch die Gravitation das Wachstum der rechten Flanke des Sprosses, bei rechts windenden (Humulus, Lonicera Caprifolium mit später verholzenden Sproßachsen, Polygonum Convolvulus) dasjenige der linken Sproßflanke gefördert. So entsteht die lateralgeotropische Flankenkrümmung. Sie stellt bei dem Zustandekommen der rotierenden Bewegung des Gipfels der Schlingpflanzensprosse die horizontale Komponente dar und würde, wenn sie allein wirksam wäre, das Sproßende uhrfederförmig einrollen. Die vertikale Komponente, welche wir uns jetzt nach der Entstehung der Flankenkrümmung allein wirksam denken wollen, wird durch negativ geotropische Krümmungen des Sproßendes gegeben. An seiner Spitze ist der Sproß schwächer, weiter nach rückwärts stärker geotropisch aufrichtungsfähig. Das geotropisch beschleunigte Wachstum der Unterseite des Pflanzenteiles führt zu einer Verlegung einer der durch Flankenkrümmung konvex gewordenen Flanken (bei links windenden Gewächsen der rechten Flanke) auf die Oberseite des Beobachtungsobjektes. Nun macht sich abermals der vorwiegend an der Spitze des Sprosses wirksame Lateralgeotropismus geltend, dann wieder negativer Geotropismus etc. etc. Man kann sich die Bewegungen der Schlingpflanzengipfel unter Zuhülfenahme eines Kautschukschlauches, den man entsprechend behandelt, klar machen. Es ist aber nicht zu vergessen, daß tatsächlich bei Schlingpflanzen Lateralgeotropismus und negativer Geotropismus nicht, wie wir bisher annahmen, nacheinander, sondern gleichzeitig nebeneinander tätig sind. Der Sproßgipfel wird durch Zusammenwirken beider in einer aufsteigenden Spirale emporgehoben, und es können sich auf solche Art freie Windungen bilden. Dieselben werden schließlich, wenn den Schlingpflanzen keine Stütze zur Verfügung steht, infolge der negativ geotropischen Eigenschaften derselben völlig ausgeglichen. Ihr Stengel streckt sich gerade. Ist eine Stütze geboten worden, so kann die völlige Geradestreckung

der Stengel nicht eintreten; sie legen sich daher dem vorhandenen Hindernis (der Stütze) in Gestalt einer Spirale dicht an. Wenn die Windungen an den älteren Stengelteilen der Schlingpflanzen durch negativen Geotropismus völlig verschwinden oder bei dem Vorhandensein einer Stütze allmählich steiler werden, so bleiben an den Stengeln aus leicht begreiflichen Ursachen homodrome (d. h. mit der Richtung, in der die Pflanze windet, gleichsinnig verlaufende) Torsionen bestehen. Antidrome Torsionen müssen entstehen, wenn die freie Bewegung des Gipfels der Schlingpflanzen durch äußere Umstände (z. B. Anpressung an eine Stütze) behindert ist. (Dies alles besonders nach WORTMANN und BARANETZKY. Vergl. die unten folgenden Literaturangaben.)

3) Ranken. Die Ranken, in eigenartiger Weise auf Kontaktreiz reagierende Pflanzenteile, stellen metamorphosierte Organe von sehr verschiedenem morphologischen Werte dar. Bei Smilax aspera sind die Ranken als umgewandelte Nebenblätter anzusehen. Bei Tropaeolum und Clematis ranken die Blattstiele. Ebenso bei Fumariaarten, bei denen auch noch die Fiederspreiten auf Berührungsreiz reagieren. Bei Ervum sowie Pisum gehen Ranken aus der Metamorphose der Endblättchen des Fiederblattes hervor. Durch Umwandlung von Blütenstielen entstehen bei Vitis, durch Metamorphose von Laubsprossen bei Cucurbitaceen Ranken. Auch existieren durch Metamorphose von Wurzeln gebildete Ranken.

Die rankentragenden Sprosse und vielfach auch die gehörig entwickelten Ranken selbst führen autonome Bewegungen aus. Indem die Ranken auf solche Art gleichsam im Raum umhertasten, können sie leicht mit einer Stütze in Berührung gelangen, welche nun die Auslösung der Reizkrümmung vermittelt (Thigmo- oder Haptotropismus der Ranken). Die Ranken mancher Pflanzen (Cobaea) reagieren allseitig auf Kontaktreiz mit Krümmungen, diejenigen anderer Gewächse nur dann, wenn ihre Unterseite oder eine Flanke berührt wird. Ihre Oberseite ist freilich ebenfalls reizbar, reagiert aber nicht mit einer Krümmung (FITTING, Jahrb. f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 38). Bei den Ranken von Sicyos, deren Zweige besonders im vorderen Drittel auf Reize reagieren, ist die mit einer Krümmung reagierende Seite jene, welche bei dem noch jungen, eingerollten Organ in der Konvexität lag. Die Reizursache (Kontaktreiz, nicht Stoßreiz oder statischer Druck), worüber Näheres unter 247 nachzusehen ist, bedingt zunächst eine Veränderung in der Turgorausdehnung der Zellen der antagonistischen Rankenseiten; weiterhin dann auch Wachstumsunterschiede auf den beiden Seiten des Organs. Für manche Cucurbitaceenranken haben PFEFFER und HABERLANDT (zusammenfassende Darstellungen vergl. in HABERLANDTS Sinnesorgane im Pflanzenreich 1901) nachgewiesen, daß die Außenwände der Epidermiszellen ihrer sensiblen Zone an einzelnen Stellen verdünnte Wandpartien besitzen. In die auf solche Art gebildeten Fühltüpfel ragen Plasmafortsätze hinein, und dieselben funktionieren als reizperzipierende Apparate (Sinnesorgane).

Die Rankenzweige des wilden Weines sind an ihrem Ende hakenförmig gekrümmt. Sie wenden sich vom Licht weg, und wenn sie eine Mauer oder Holzwerk berühren, bewirkt der Kontaktreiz die Bildung von Haftballen an den Rankenspitzen, welche durch Sekretion klebriger Stoffe und auf andere Art befestigt werden.

Bei vielen Gewächsen, deren Ranken keine Befestigung erfahren haben, welken diese Organe, um alsbald abzufallen. Ist das Ende einer Ranke aber befestigt, dann wird der empfangene Reiz auch zu dem frei

ausgespannten Rankenteile fortgeleitet. Derselbe rollt sich infolgedessen unter Bildung von Wendepunkten korkzieherförmig ein, und in vielen Fällen erfährt das Organ zugleich, verbunden mit reichlicher Entwickelung des für Herstellung bedeutender Zugfestigkeit wichtigen, mechanischen Gewebes, ein ausgiebiges Dickenwachstum. (Kerner von Marilaun, Pflanzenleben; Baranetzki, Mémoires de l'Académie impérial de St. Pétersbourg, Sér. VII, T. 31, No. 8, 1883; Wortmann, Botan. Zeitung, 1886; Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882; Strasburger, Lehrbuch der Botanik, 4. Aufl.; H. de Vries, Arbeiten des bot. Instituts in Würzburg, Bd. 1; Darwin, Bewegungen und Lebensweise der kletternden Pflanzen, 1876; O. Müller, in Cohns Beiträgen zur Biologie der Pflanzen, Bd. 4; Pfeffer, Untersuchungen aus dem bot. Institut in Tübingen, Bd. 1.)

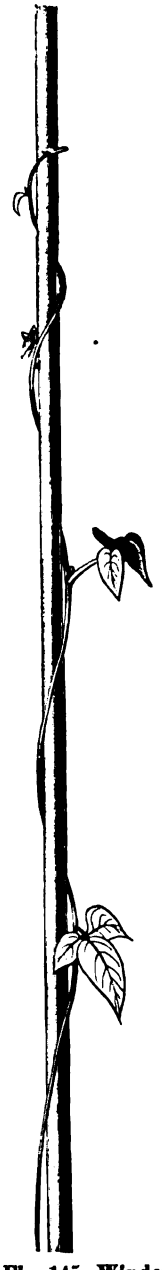


Fig. 145. Windender Sproß von Phaseolus multiflorus.

238. Winden des Hopfens und der Bohne (Phaseolus multiflorus.)

a) Hopfen. Es läßt sich leicht bei der Betrachtung einer Hopfenpflanze feststellen, daß dieselbe zu den rechts windenden Gewächsen gehört. Von jungen Trieben oder Blattstielen des Hopfens werden Epidermisstreifen abgezogen, um dieselben mikroskopisch zu untersuchen. Auf der Oberhaut sitzen warzenförmige Emergenzen, von denen jede an ihrem Ende ein ankerartig gestaltetes Haar trägt. Das Haar ist vorzüglich dazu geeignet, zur Befestigung des gewundenen Stengels an seiner Stütze beizutragen.

b) Bohne. Blumentöpfe von ca. 12 cm Höhe und 10 cm Durchmesser werden mit durchfeuchteter Gartenerde angefüllt. In die Erde legt man Samen von Phaseolus ein. Die Kulturgefäße stellt man vor einem nach Norden gelegenen Fenster auf. Auch im Winter können Beobachtungen im Warmhaus angestellt werden. Wenn die Pflanzen einigermaßen entwickelt sind, beseitigt man die schwächlichen Individuen und läßt nur 1 oder 2 kräftige Exemplare in jedem Topf zu weiterer Ausbildung gelangen. Wenn das dritte Internodium sich zu strecken beginnt, stellt man lange Holzstäbe in unmittelbare Nähe der Bohnen. Diese Stäbe, im Durchmesser von 4, 13 und selbst 30 mm, oder Drähte von 1 mm, auch gespannte Bindfäden werden von den Bohnenstengeln umwunden: die Bohne windet aber nicht rechts, wie der Hopfen, sondern links. Unsere Fig. 145 zeigt dies deutlich, dieselbe läßt auch erkennen, daß die älteren Windungen enger sind und steiler emporsteigen, als die jüngeren. Diese Erscheinungen treten zumal klar hervor, wenn die Stützen, welche man benutzt, nicht dicker als einige Millimeter sind. (Ueber Winden der Bohne im Dunkeln vergl. unter 197b.)

239. Die rotierende Bewegung der Schlingpflanzen.

a) Phaseolus. Betrachtet man sich entwickelnde Bohnenpflanzen, so findet man, daß die ersten Internodien das Phänomen der rotierenden Bewegung nicht oder nicht deutlich zeigen. Erst die folgenden Stengelteile bieten die Erscheinung dar. Die langen Sproßgipfel neigen seitwärts über. Sie befinden sich aber nicht in Ruhe, sondern in ununterbrochener Bewegung, wodurch der Gipfel in einem Kreise herumgeführt wird. Sehr kräftige, in Blumentöpfen zur Entwickelung gelangte Bohnenpflanzen dienen bei recht günstigen Vegetationsbedingungen (20° C und in nicht trockener Luft) zu den Beobachtungen. Der basale Teil der Sprosse ist vertikal aufgerichtet, der Sproßgipfel erscheint aber in einem weiten Bogen gekrümmt, so daß die Spitze horizontal steht oder gar etwas nach abwärts neigt. Wir tragen nun auf der konvexen Seite des Sprosses mit Tusche eine Längslinie auf und stellen den Sproß dann derartig auf, daß seine konvexe Seite uns zugekehrt ist. Mit Wortmanns Worten beschreiben wir die eintretenden Erscheinungen, wie folgt, weiter: „Die Krümmungsebene steht dann senkrecht zu unserer Brust, die Spitze des Sprosses ist uns abgewendet und zeigt z. B. nach Osten. Sehen wir nun nach Verlauf von etwa $^1/_2$ Stunde den Sproß wieder an, so beobachten wir eine auffallende Veränderung in seiner Stellung. Die Spitze, immer noch horizontal schwebend, zeigt nach Norden, die Krümmungsebene selbst ist, wie vorher, senkrecht, aber jetzt parallel zu unserer Brust, und die Tuschelinie liegt nicht mehr auf der konvexen Seite, sondern auf der linken Flanke des Sprosses. Die durch die konvexe Seite angegebene Zone des stärksten Wachstums ist also um 90° nach rechts gerückt, liegt aber noch, wie vorher, auf der Oberseite. Mit anderen Worten: während die Zone des stärksten Wachstumes um den vierten Teil des Stengelumfanges nach rechts gewandert ist, hat die Spitze des Sprosses einen horizontalen Kreisbogen von 90° nach links beschrieben." Das weitere Verhalten des Untersuchungsobjektes ist leicht zu verfolgen. Nach abermals $^1/_2$ Stunde liegt der Tuschestrich auf der konkaven Seite des Sprosses, und erst nach im ganzen 2 Stunden ist die ursprüngliche Stellung wieder erreicht, dann beginnt eine neue Kreisbewegung. Es sei bemerkt, daß die Geschwindigkeit, mit der eine volle Kreisbewegung von der Sproßspitze vollzogen wird, wesentlich abhängig ist von äußeren Faktoren, namentlich der Temperatur. Die Zone stärksten Wachstumes liegt fast stets (aber nicht immer) auf der Oberseite der gekrümmten Partie des gekrümmten Sprosses, was die gewöhnlich senkrechte Lage der Krümmungsebene zur Folge hat. Die kreisende Bewegung der Endknospe kommt nach allem, was wir gesehen haben, dadurch zu stande, daß die Zone stärksten Wachstumes sukzessive den Stengel umläuft.

b) Ipomoea. Sehr energisch rotierende Bewegungen können wir auch an den Sproßenden von Ipomoea purpurea beobachten. Kultur der Pflanze aus Samen im Blumentopf. Wir verfolgen die Bewegung eines Stengelendes, das über die der Pflanze dargebotene Stütze hervorragt. Aufstellung der Pflanze im Warmhaus.

240. Die freien Windungen.

Recht kräftige, 20—30 cm lange, im Freien zur Entwickelung gelangte Sproßenden von Ipomoea purpurea oder Phaseolus, die noch gerade gestreckt sind, werden abgeschnitten. Die Untersuchungsobjekte

werden mit ihrem unteren Ende in ein mit Wasser angefülltes kleines Glas gestellt und unter eine große Glasglocke gebracht, deren Innenwand mit Wasser benetzt worden ist. Unter den bezeichneten Umständen wachsen die Sprosse weiter; nach 2—3 Tagen haben sie, im Dunkeln verweilend, oder dem diffusen Tageslicht ausgesetzt, einige freie Windungen gebildet. Unsere Fig. 146 lehrt, daß die weiter nach abwärts liegenden, also älteren Teile des gewundenen Stengels steiler als dessen jüngere Teile gerichtet sind, eine Erscheinung, die durch negativen Geotropismus zu stande kommt. Dieser Geotropismus bedingt es auch, daß die über ihre Stützen emporragenden Sprosse der Schlingpflanzen, welche sich im Freien unter sehr günstigen Umständen entwickeln, nur selten freie Windungen in typischer Form zeigen. Die Pflanzenteile reagieren unter solchen Umständen so energisch auf die Gravitationswirkung, daß dadurch gewöhnlich eine fast völlige Geradestreckung ihrer Internodien herbeigeführt wird und somit keine bleibenden Windungen entstehen können.

Fig. 146. Fig. 147.

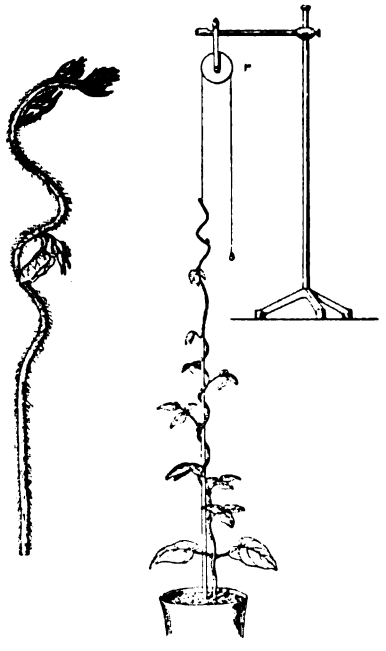


Fig. 146. Sproß von Ipomoea purpurea mit freien Windungen.

Fig. 147. Phaseoluspflanze, deren Stengel oberhalb der Stütze freie Windungen gebildet hat.

241. Fadenversuch mit Schlingpflanzen.

An der Endknospe einer in einem Blumentopf erwachsenen Bohnenpflanze, die bereits einige, um eine Stütze gewundene Internodien gebildet hat, wird ein feiner Faden befestigt, der über eine senkrecht über der Pflanze angebrachte, leicht bewegliche Rolle läuft. An das noch freie Fadenende hängt man ein kleines Gewicht (z. B. 1 g), das eben hinreicht, um das Umsinken des Bohnenstengels zu verhüten. Nach Verlauf von 1—2 Tagen hat der Gipfel der Pflanze einige freie Windungen gebildet (vergl. Fig. 147), die aber, während der Stengel an seiner Spitze fortwächst, allmählich wieder verschwinden, da der Geotropismus, wie auch unter anderen Umständen, schließlich eine Geradestreckung der Internodien herbeiführt. Hat man vor Beginn des Experimentes auf einer Längsseite des Stengels mit Tusche feine Punkte in geringer Entfernung voneinander aufgetragen, so ergibt sich, daß diese Punkte, nach erfolgter Geradestreckung der zuerst gebildeten freien Windungen, nicht mehr in einer geraden Linie liegen, sondern in Richtung einer links aufsteigenden Schraubenlinie angeordnet sind. Es ist also an unserem Untersuchungsobjekt eine homodrome Torsion hervorgetreten, eine Erscheinung, die man sehr oft an schlingenden Stengeln beobachten kann. Die ursprünglich vorhandenen freien Windungen des Stengels haben sich durch Geradestreckung desselben in eine homodrome Torsion verwandelt.

242. Vorkrümmung und negativ geotropisches Verhalten der Stengel von Schlingpflanzen.

a) Vorkrümmung. In Blumentöpfen kultivierte Bohnenpflanzen, deren Gipfel noch gerade gestreckt ist, die aber dicht vor dem Beginn der rotierenden Bewegung stehen, werden zur Ausschließung heliotropischer Krümmungen, mit Hülfe des Klinostaten, in horizontaler Ebene langsam gedreht. Geeignete Pflanzen sind solche, bei denen das zweite Internodium über den Primordialblättern sich zu strecken beginnt. Man kann auch bereits in rotierender Bewegung befindliche Sprosse beobachten, muß dann aber die unteren Sproßteile durch Anbinden an einen Stab fixieren, so daß der etwa 10—15 cm lange Gipfel vertikal und frei aufgerichtet bleibt. In jedem Falle wird man früher oder später wahrnehmen, wie das freie Sproßende in einer Länge von einigen Centimetern eine meist sehr scharfe Krümmung auszuführen beginnt. Es hat sich eine Vorkrümmung gebildet.

b) Negativer Geotropismus. Etwa 20 cm lange Gipfelstücke kräftiger Bohnenpflanzen werden mit der Basis in der Art, wie es unter 210b angegeben ist, in feuchten Sand gesteckt. Ihr negativ geotropisches Verhalten tritt alsbald klar hervor. Die Zone stärkster Krümmung liegt stets einige, z. B. 10 cm entfernt von der Sproßspitze.

243. Klinostatenversuche.

a) Aufhebung der Vorkrümmung. Recht kräftige, in Blumentöpfen kultivierte Phaseoluspflanzen oder aus Samen erwachsene Exemplare von Ipomoea, die noch nicht um eine Stütze gewunden sind, dienen als Versuchsobjekte. Wir befestigen den unteren Teil der Pflanzen an einem geeigneten, in der Erde der Kulturgefäße steckenden Stab, so daß nur der Sproßgipfel in der Länge von einigen Centimetern frei bleibt. Bei Rotation auf dem Klinostaten (vergl. unter 242) tritt nun sehr bald an den ursprünglich gerade gestreckten Sproßenden eine Vorkrümmung ein. Ist dies geschehen, so bringen wir die Blumentöpfe sofort auf den Klinostaten, der auf einem zitterfreien Tisch aufgestellt ist, und dessen Achse parallel zum Fenster steht. Der Apparat wird derartig eingestellt, daß seine horizontal gerichtete Achse im Laufe von etwa 10 Minuten eine volle Umdrehung ausführt. Bei der langsamen Rotation verschwindet die Vorkrümmung alsbald wieder, indem sie durch Wachstumsvorgänge ausgeglichen wird, und der Sproß erscheint gerade gestreckt. Es treten aber alsbald neue Nutationen auf, die abermals ausgeglichen werden oder mehr oder weniger erhalten bleiben. Die Sprosse der Schlingpflanzen sind also befähigt, aus inneren Ursachen Nutationen auszuführen. Solche undulierende Nutationen kommen natürlich auch bei Rotation am Klinostaten zur Geltung, während unter solchen Umständen keine rotierende Bewegung auftreten kann, da die Schwerkraftwirkung ausgeschlossen ist. Die Experimente am Klinostaten sind womöglich längere Zeit fortzuführen, was unter Berücksichtigung einiger Vorsichtsmaßregeln nicht schwierig ist.

b) Abwickelung von einer Stütze. Die Bedeutung der Schwerkraftwirkung für das Zustandekommen der rotierenden Bewegung und des Windens der Schlingpflanzen läßt sich auch aus folgendem Versuch entnehmen. Der Blumentopf, in welchem sich eine kräftige Bohne entwickelt hat, die bereits mehrere Windungen um eine Stütze ausführte, wird auf dem Klinostaten befestigt und der langsamen Rotation in vertikaler Ebene ausgesetzt. Die Klinostatenachse steht parallel zum Fenster.

Die Rotation erfolgt in einer dem Verlauf der Windungen entgegengesetzten Richtung. Wir sehen nun, daß die noch wachstumsfähigen Teile des Bohnenstengels sich von der Stütze loslösen. Die jüngsten Windungen wickeln sich ab, und das Sproßende streckt sich mehr oder minder gerade. Dieses Resultat kommt zu stande, indem sich der gewundene, noch wachsende Teil des Sprosses bei Aufhebung der Schwerkraftwirkung am Klinostaten genau so verhält, wie z. B. ein einfach geotropisch gekrümmter. In beiden Fällen bedingt die Rektipetalität oder der Autotropismus der Untersuchungsobjekte die Geradestreckung.

244. Weitere Beobachtungen über windende Schlingpflanzen.

a) Negativer Geotropismus. Kräftigen, in Töpfen kultivierten Bohnenpflanzen, deren Gipfel sich in rotierender Bewegung befindet, bieten wir Stützen von 30 mm dar. Nachdem die Stützen einige Male von den Stengeln umwunden sind, entfernen wir jene ersteren und ersetzen sie schnell durch dünne Stäbe von nur wenigen Millimetern Durchmesser. Die vorhandenen Windungen liegen den dünnen Stützen natürlich zunächst nicht an. Man beobachtet jetzt, daß das obere, fortwachsende Ende der Bohnenstengel neue Windungen bildet, aber für uns ist von besonderer Wichtigkeit, daß die jüngeren derjenigen Windungen, welche schon um die dicken Stützen gebildet worden waren, im Laufe von 1—2 Tagen steiler werden und sich den dünnen Stützen dicht anschmiegen. Diese Erscheinung ist Folge des in den betreffenden Stengelteilen noch fortdauernden Wachstums und der damit zu stande kommenden geotropischen Aufrichtung derselben. Der Geotropismus kann keine völlige Geradestreckung der Internodien herbeiführen, weil sich die Stützen hindernd in den Weg stellen. Als Endresultat treten nur die Stütze umlaufende Windungen auf.

b) Umkehrungsversuche. Ein kräftiges, in einem Blumentopf erwachsenes Exemplar von Phaseolus, das einige Windungen um eine Stütze gebildet hat, wird in umgekehrter Lage, d. h. mit der Spitze nach abwärts aufgestellt, nachdem man auf die Erde im Topf, um das Herausfallen des Erdballens zu verhindern, einige Sperrhölzer gelegt hat. Es erfolgt alsbald ein Abwickeln der jüngeren, noch lebhaft wachsenden Teile des Stengels der Bohnenpflanze von der Stütze, und das Stengelende richtet sich empor. Dieses Resultat des Experiments wird nur verständlich, wenn man bedenkt, daß in jeder noch wachsenden Querzone eines Bohnenstengels durch den Einfluß der rotierenden Bewegung stets die Tendenz vorhanden ist, in Richtung einer links aufsteigenden Schraubenwindung weiter zu wachsen. Nach dem Umkehren einer Bohnenpflanze muß daher die der Stütze zugewandte konkave Seite des Stengels konvex werden, und dies hat ein Abwickeln der noch wachsenden Partien der Internodien zur Folge.

245. Rankenbewegungen von Sicyos.

a) Rankenkrümmung. Samen von Sicyos angulatus werden im Warmhause in Blumentöpfen ausgesäet, und wenn die jungen Pflanzen sich einigermaßen kräftig entwickelt haben, so setzen wir sie ins freie Land. Hier gedeihen sie, wenn man ihnen Holzstäbe oder Drähte als Stützen darbietet, sehr kräftig. Im jugendlichen Zustande sind die einzelnen Zweige der Sicyosranken spiralig eingerollt. Später strecken sich die Zweige, lebhaft weiter wachsend, gerade und sind dann sehr reizbar. Berührt man eine Sicyosranke mit Holzstäbchen an verschiedenen Stellen, so findet man, daß nur ihr vorderes Drittel stark reizbar ist. Man stellt

auch fest, daß hier fast nur eine Seite (Unterseite) des Organs den Reiz perzipieren kann, nämlich diejenige, welche in der Konvexität lag, solange die ganz jugendliche Ranke noch eingerollt war. Diese Reizbarkeit ist natürlich an warmen Tagen viel größer als an kühlen. Zieht man an einem warmen Tage einen gerade gestreckten Rankenzweig vorsichtig zwischen den Fingern hindurch, so krümmt sich derselbe alsbald bedeutend. Die Bewegung ist eine so lebhafte, daß man sie direkt mit dem Auge verfolgen kann. Fig. 148 stellt einen Sproß mit Ranken von

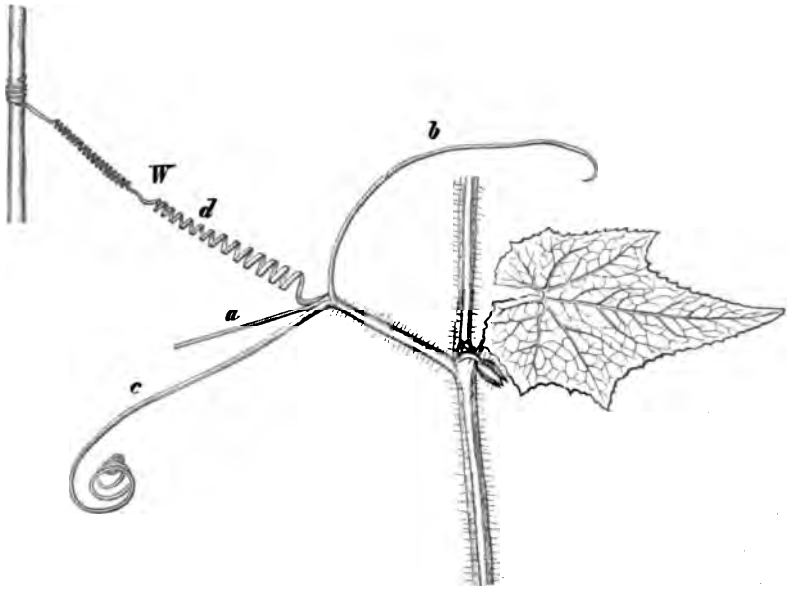


Fig. 148. Teil eines Sprosses von Sicyos angulatus mit einer Ranke.

Sicyos dar. Der Rankenzweig *a* ist nicht gereizt, daher noch gerade gestreckt; Zweig *b* schwach mit Holzstäbchen gereizt; er hat unbedeutende Krümmung erfahren. Zweig *c* mehrfach mit Holzstäbchen berührt; daher stärker gekrümmt. Die Rankenzweige *b* und *c* strecken sich, wenn man sie sich nach der vorübergehenden Reizung selbst überläßt, in einiger Zeit wieder vollkommen gerade und sind abermals für Berührungsreiz empfindlich.

b) Befestigung der Ranken. Wird in der Nähe eines Rankenzweiges von Sicyos eine Stütze, z. B. ein Draht oder dünner Holzstab aufgestellt, so gelangt das reizbare Organ, infolge noch zu erwägender Nutationen, alsbald mit der Spitze in Berührung. Der Kontakt löst Reizbewegung aus, und die Ranke krümmt sich. Durch diese Krümmung kommen weitere Partien der Ranke mit der Stüze in Berührung; neue Reizwirkungen werden ausgelöst, und ein Umwinden der Stütze ist schließlich der Erfolg der Vorgänge (Fig. 148, Zweig *d*). Nun treten an dem Rankenteil, der zwischen der Stütze und der Pflanze ausgespannt ist, relativ schnell, d. h. unter günstigen Vegetationsbedingungen z. B. in etwa 12 Stunden, merkwürdige Veränderungen ein. Der ausgespannte Rankenteil hat nämlich nach dieser Zeit korkzieherförmige Einrollungen und an diesen Wendepunkte (Fig. 148 bei *W*) gebildet. Die Entstehung

dieser korkzieherförmigen Einrollungen schreitet von der Spitze nach der Basis des Rankenzweiges fort. Bei ihrer Entstehung müssen Reizfortpflanzungen eine wichtige Rolle spielen.

246. Rankenbewegungen von Cyclanthera explodens.

a) Spontane Nutation. Wir kultivieren die Pflanzen aus Samen in größeren Blumentöpfen. Die Kultur kann auch im Winter im Gewächshause vorgenommen werden. Beobachtet man ein kräftig entwickeltes Individuum von Cyclanthera, so sieht man, daß nicht befestigte, gerade gestreckte Ranken fortwährend in Bewegung begriffen sind. Sie werden im Raum in einem Kreise herumgeführt, und eine volle Kreisbewegung kann bei hoher Sommertemperatur z. B. in einer Stunde vollzogen werden. Die Bewegungen kommen durch Nutationen der die Ranken tragenden Sprosse und der Ranken selbst zu stande. Die Bewegungen der Ranken selbst treten in reiner Form hervor, wenn man diejenigen der Sprosse ausschließt, indem man dieselben an der Insertionsstelle der Ranken an einem Stab befestigt.

b) Krümmung durch Kontaktreiz. Berührung der Rankenenden ruft eine Krümmung derselben hervor. Ist der Reiz ein vorübergehender, so streckt sich das Organ allmählich, z. B. in einer Stunde, wieder vollständig aus. Die Empfindlichkeit der Ranken ist eine sehr große, und schon Stückchen baumwollenen Garnes oder kleine Papierreiter von wenigen Milligramm Gewicht, die man sanft auf die Rankenspitzen bringt, lösen Reizbewegungen aus. Weit weniger empfindlich als Cucurbitaceenranken sind dagegen z. B. Vitisranken. Dauernde Berührung des Rankenendes von Cyclanthera mit einer Stütze ruft natürlich Umwinden derselben hervor. Bei hoher Sommertemperatur können schon nach 8 Stunden die ersten korkzieherförmigen Windungen an dem zwischen Pflanze und Stütze ausgespannten Rankenteil auftreten.

247. Kontaktreiz und Stoßreiz.

Rankentragende Sicyossprosse werden kräftig, aber unter sorgfältiger Vermeidung jeder Berührung der Ranke mit einem festen Körper geschüttelt. Es treten wohl Erschütterungskrümmungen auf, aber nicht jene charakteristischen Reizwirkungen, welche durch Kontakt mit einem festen Körper zur Geltung kommen. Luftreibung wirkt nicht als Reiz; ebensowenig ein Wasserstrahl, den wir z. B. aus einer Spritzflasche gegen die reizbare Seite einer Sicyosranke richten. Die Ranken sind nicht durch jede beliebige mechanische Erschütterung an sich reizbar, sondern sie reagieren nur auf Reibung oder auf Stoßwirkungen, „welche gegen diskrete nahe benachbarte Punkte eine ungleiche Kompression ausüben", nicht auf statischen Druck. Die Drüsenhaare von Drosera verhalten sich ganz analog wie Ranken. Anders reagieren z. B. Blätter von Mimosa pudica. Wenn man einen Wasserstrahl gegen ein ausgebreitetes Blatt richtet, so erfolgen die bekannten Schließungsbewegungen sehr schnell. Mimosa reagiert auf jede mechanische Erschütterung, aber nicht auf statischen Druck, während die Ranken nur für Kontaktreiz empfindlich sind. Da die Ranken nur in der spezifischen, schon bezeichneten Art reagieren, wird eine Sicyosranke, wie Pfeffer zuerst feststellte, nicht gereizt, wenn wir sie mit dem Ende eines Glasstabes in Berührung bringen, das wir durch Eintauchen in 14-proz. Gelatine mit dieser überzogen haben. Die Gelatine darf nicht trocken geworden sein.

248. Ursachen der Rankenbewegung.

a) Plasmolyse. Wir reizen gerade gestreckte Sicyosranken durch Berührung derselben mit einem Holzstäbchen. Nach kurzer Zeit haben die Ranken $^1/_4$ oder $^3/_4$ Windungen gebildet. Jetzt werden die Organe abgeschnitten und in 20-proz. Kochsalzlösung gelegt. Nach kurzer Zeit haben sich die Ranken völlig gerade gestreckt, was beweist, daß dem Zustandekommen der Windungen nur Differenzen der Turgorausdehnung der Zellen auf den antagonistischen Seiten zu Grunde lagen. Die Turgorausdehnung der Zellen auf der konkaven Seite der gereizten Organe war geringer als diejenige der Zellen auf der konvexen Seite derselben. Reizen wir Sicyosranken und schneiden sie ab, wenn $1^1/_4$ Windungen gebildet worden sind, so tritt durch Plasmolyse in Salzlösung keine völlige Geradestreckung ein, weil die durch Turgordifferenzen eingeleiteten Veränderungen bereits teilweise durch Wachstumsprozesse fixiert worden sind.

b) Mikroskopisches. Die Ranken der Cucurbitaceen sind, worauf für Sicyospflanzen bereits hingewiesen wurde, nur in ihrem vorderen Teil sehr reizbar. Hiermit steht gewiß im Zusammenhang, daß die Spitze der Cucurbitaceenranken dorsiventral gebaut ist, während der radiäre Bau des Organes um so klarer hervortritt, je mehr wir uns der Basis desselben nähern. Wir stellen eine ganze Anzahl von Schnitten aus der Ranke von Bryonia dioica her. An der Basis ist die Ranke völlig oder nahezu radiär gebaut. Auf die Epidermis folgt Kollenchym, dann grünes Parenchym, ein geschlossener Sklerenchymring, dessen Elemente aber noch nicht verholzt zu sein brauchen und der die regelmäßig gruppierten Gefäßbündel umgibt. Untersuchen wir Schnitte aus dem dorsiventral gebauten oberen Teil der Bryoniaranke, so sehen wir die Gefäßbündel auf der Rankenunterseite zusammengedrängt; hier ist auch nur ein Bogen von Sklerenchym (kein geschlossener Ring) vorhanden. Kollenchym ist auch besonders auf der Rankenunterseite entwickelt, während das grüne Parenchym vor allem als Hauptgewebe der Rankenoberseite auftritt.

249. Experimente mit Ranken von Vitis vinifera.

Diese Ranken sind bei weitem nicht so empfindlich, wie diejenigen der Cucurbitaceen. Zieht man einen Rankenzweig mehrfach zwischen den Fingern hindurch, so tritt die Reizwirkung oft erst nach einer oder mehreren Stunden hervor. Auch die Geradestreckung einer gereizten Ranke geht nur langsam vor sich. Ein dünner Holzstab, der als Stütze in die Nähe einer Vitisranke gebracht wird, kann leicht umwunden werden. Die Bildung der korkzieherförmigen Einrollungen geht langsam, oft erst im Laufe einiger Tage vor sich.

250. Beobachtungen an Ranken von Ampelopsis hederacea (wilder Wein).

In Fig. 149 ist eine Ampelopsisranke abgebildet, welche noch gar keine Befestigung erfahren hat. Die Ranken sind nur bei einzelnen Individuen zum Winden befähigt; gewöhnlich erfolgt die Befestigung durch Haftballenbildung am Ende der Rankenzweige. Diese Enden schwellen, wenn sie mit Mauern oder Holzwerk in Berührung geraten, infolge des Kontaktreizes an. Die Zellen der Haftballen scheiden klebrige Sekrete ab, welche zu ihrer Befestigung dienen. In Fig. 150 ist ein Rankenzweig mit jungen Haftballen abgebildet. Ranken, die keine Befestigung erfahren, werden nach einigen Wochen welk und fallen

ab. Befestigte Ranken bilden am frei ausgespannten Teil korkzieherförmige Einrollungen, und es treten auch noch andere Veränderungen ein. Wir untersuchen zarte Querschnitte von noch nicht befestigten Rankenteilen von Ampelopsis. Epidermis, Kollenchym, grünes Rinden-

Fig. 149. Fig. 150.

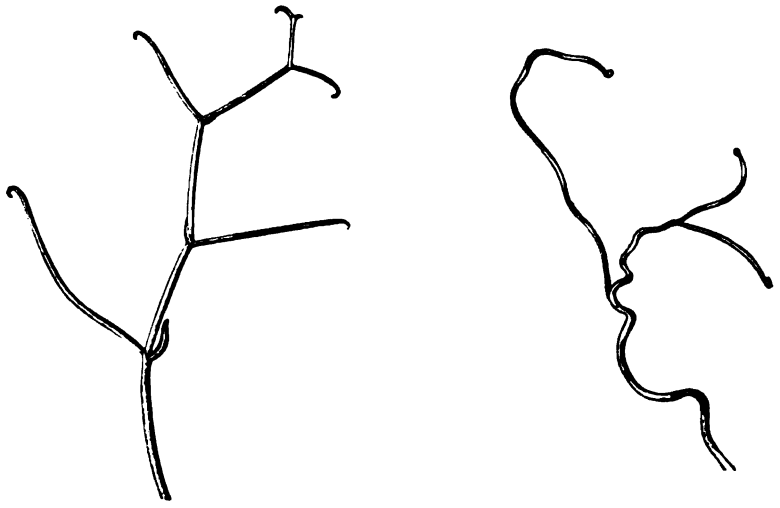


Fig. 149. Ranke von Ampelopsis hederacea, nicht befestigt.
Fig. 150. Ranke von Ampelopsis hederacea, mit Haftballenbildung.

gewebe, der Kreis der Gefäßbündel, große Markverbindungen und Mark sind deutlich zu sehen. Nach der Befestigung der Ranken verändert sich ihr Bau. In den Markverbindungen tritt Zwischenkambium auf; der Holzkörper der Gefäßbündel vergrößert sich in bedeutendem Maße, bis endlich ein geschlossener Holzring entstanden ist, wodurch die Ranken sehr erheblich an Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gewinnen.

VIII. Dorsiventralität, Polarität, Korrelationen und Anisotropie im Pflanzenreich.

Aus inneren und äußeren Wachstumsursachen schlagen die einzelnen Glieder einer Pflanze verschiedene Wachstumsrichtungen ein. Die Hauptwurzel wächst z. B. nach abwärts, der Stengel gewöhnlich gerade nach aufwärts, die Nebenwurzeln, Zweige oder Blätter nehmen eine horizontale oder schiefe Stellung ein. Die Organe der Gewächse reagieren nicht in der nämlichen Art auf gleiche äußere Einflüsse. Diese Tatsache bezeichnet Sachs kurz und treffend mit dem Ausdruck: Anisotropie der Pflanzenteile. Orthotrop nennt der genannte Forscher solche Organe (Hauptwurzeln, Stengel), welche unter normalen Bedingungen vertikal nach auf- oder abwärts wachsen; plagiotrop diejenigen, welche eine andere Wachstumsrichtung einschlagen. Orthotrope Pflanzenteile sind radiär (multilateral) gebaut, doch existieren auch radiäre Organe, die ein plagio-

tropes Verhalten zeigen. Dorsiventrale Organe sind immer plagiotrop (z. B. Blätter).

Die Frage nach den Ursachen der Anisotropie ist von Frank, de Vries, Sachs, Noll, Krabbe, Schwendener, Vöchting, Baranetzky, Wiesner, Czapek und anderen behandelt worden. Bezüglich der radiotropen Organe ist sie ziemlich sicher beantwortet, denn hier kommen namentlich negativer sowie positiver Geotropismus und Heliotropismus als richtende Kräfte in Betracht. Viel schwieriger, und noch keineswegs erledigt, ist die Frage, weshalb zahlreiche Pflanzenteile z. B. der Thallus von Marchantiaceen, Erdsprosse, Laubblätter, Nebenwurzeln ein plagiotropes Verhalten darbieten. In jedem konkreten Falle können die Ursachen besonderer Art und zum Teil sehr schwierig festzustellende sein.

Im Zusammenhang mit dem Gesagten ist hier auch noch besonders auf die Dorsiventralität der Pflanzenteile einerseits und deren Polarität (Gegensatz von Basis und Spitze) andererseits hinzuweisen. Dorsiventralität und Polarität können in den Pflanzenteilen derartig erblich fixiert sein (inhärente Dorsiventralität und Polarität), daß es nicht oder nur schwierig gelingt, sie durch den Einfluß veränderter Lebensbedingungen zu beseitigen oder zu beeinflussen. Es existieren aber auch andere Objekte, deren Dorsiventralität sowie Polarität eine in mehr oder minder hohem Grade durch direkten Einfluß äußerer Umstände bedingte, also induzierte, und daher modifizierbare ist.

Schließlich soll in diesem Abschnitt noch auf die Korrelationserscheinungen hingewiesen werden, durch deren Vorhandensein mit besonderer Deutlichkeit die selbstregulatorische Tätigkeit des Organismus dokumentiert wird. (Vergl. Frank, Die natürliche wagerechte Richtung der Pflanzenteile, Leipzig 1870; Darwin, Bewegungsvermögen d. Pflanzen, 1881; Stahl, Ber. d. Deutsch. botan. Gesellsch., Bd. 2.; de Vries, Arbeiten d. bot. Instituts in Würzburg, Bd. 1; Sachs, ebendaselbst, Bd. 2; Detmer, Botan. Zeitung, 1882; Vöchting, Ueber Organbildung im Pflanzenreich, 1878, u. Botan. Zeitung, 1888; Krabbe, Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 20; Noll, Die Orientierungsbewegungen dorsiventraler Organe, München 1892; Schwendener und Krabbe, Abhandl. d. Königl. preuß. Akademie d. Wiss., 1892; Czapek, Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 32; Baranetzky, Flora, 1901; Goebel, Botan. Zeitung, 1880.)

251. Dorsiventralität.

Ein ausgezeichneter Fall lokaler Induktion von Dorsiventralität läßt sich bei Experimenten mit den horizontal wachsenden Sprossen von Thuja occidentalis konstatieren. An diesen Sprossen sind vier Blattzeilen vorhanden; je eine Blattzeile auf der Ober- und Unterseite (Facialblätter), je eine an den beiden Flanken (Marginalblätter). Die unter gewöhnlichen Verhältnissen erwachsenen Thujasprosse sind nun deutlich dorsiventral gebaut, wovon man sich leicht bei mikroskopischer Untersuchung zarter Querschnitte überzeugen kann. Ihr Mesophyll z. B. ist auf der Oberseite palisadenartig entwickelt, auf der Unterseite besteht es aus nahezu isodiametrischen Zellen (vergl. Frank, Pringsheims Jahrbücher, Bd. 9, Taf. 16, Fig. 4). Wenn man nun im März, vor dem Erwachen der Vegetation, horizontale Thujasprosse umkehrt und in dieser Lage fixiert, ohne sie von der Mutterpflanze abzutrennen, so daß ihre morphologische Unterseite nach oben gewandt ist, dann entwickeln sich die Sproßenden im Laufe des Frühlings ganz normal und erlangen auch wie gewöhnlich dorsiventralen Bau. Diejenige Seite der Thujasprosse

aber, welche ohne Umkehrung zur morphologischen Unterseite geworden wäre, wird jetzt zur Oberseite, wie z. B. das Vorhandensein von Palisadenparenchym deutlich zeigt; während die erdwärts gewandte Seite der umgekehrten Sprosse den normalen Charakter der Unterseite annimmt. Die Dorsiventralität der Thujasprosse ist also Folge lokaler Induktion. Sie wird durch Lichtwirkung hervorgebracht, nicht, wie FRANK noch spezieller nachzuweisen sucht, durch Schwerkraftwirkung.

252. Polarität.

a) Experimente mit Weidenzweigen. Der Boden eines größeren Glascylinders wird mit einer 1 cm hohen Wasserschicht bedeckt. Die Innenwand des Cylinders belegen wir ihrer ganzen Ausdehnung nach mit durchfeuchteten Fließpapierstreifen. Die Oeffnung des Apparates verschließt man mit einem Kork, an welchem man mittelst eines Drahtes und eines Fadens ein Zweigstück von Salix fragilis von etwa 200 mm Länge und 12 mm Durchmesser derartig befestigt, daß das seiner ganzen Länge nach mit möglichst gleichartig entwickelten Knospen besetzte Untersuchungsobjekt seine morphologische Spitze nach oben, sein basales Ende aber nach unten kehrt und nicht in das Wasser eintaucht. Bei ca. 20° bilden die Weidenzweige in 3—4 Wochen bei Lichtabschluß kräftige Triebe, und es entwickeln sich auch aus den unter der Rinde verborgenen Wurzelanlagen lange Wurzeln. Wir finden nun aber in Uebereinstimmung mit VÖCHTING, daß Triebe nur aus den an der Spitze der Zweigstücke vorhandenen Knospen hervorgehen, während die Wurzelentwickelung sich nicht immer gleichartig gestaltet. Bei Experimenten im Februar oder März entwickeln sich Wurzeln an einem recht beträchtlichen Teil der Oberfläche der Zweigstücke, aber man sieht, daß die Wurzeln nach der morphologischen Basis der Zweigstücke hin an Zahl und Länge zunehmen (vergl. Fig. 99), wodurch wiederum die Polarität der Untersuchungsobjekte zum Ausdruck gelangt.

b) Umkehrungsversuche. Im Februar oder März hängen wir Weidenzweige in Glascylinder derartig auf, daß ihre morphologische Spitze nach abwärts, ihre morphologische Basis aber nach oben gekehrt ist. Es ergiebt sich wieder, daß an der unten befindlichen Spitze Triebe, an der morphologischen Basis aber besonders zahlreiche und kräftige Wurzeln zur Ausbildung gelangen. Die Polarität der Untersuchungsobjekte ist also eine inhärente.

c) Experimente mit horizontal gelegten Weidenzweigen. Ein größerer Zinkkasten wird bis zur Hälfte mit Wasser angefüllt. Ueber der Wasserfläche werden dann eine Anzahl von Weidenzweigstücken von 200 mm Länge und 12 mm Durchmesser in eine horizontale Lage gebracht, was leicht geschehen kann, indem man sie an ihren Enden auf geeignete, aus dem Wasser hervorragende Unterlagen auflegt. Bei den Versuchen, die man z. B. im März anstellt, wird das Zinkblechgefäß nicht völlig luftdicht mit einem Deckel verschlossen. Die Triebe, die sich nach einiger Zeit entwickeln, bilden sich vorwiegend an der morphologischen Spitze der Weidenzweige aus, während zumal an der Basis derselben Wurzeln entstehen. Besonderes Interesse beansprucht nun die Tatsache, daß die Triebe der horizontal gelegten Zweige insbesondere an deren Ober-, die Wurzeln dagegen an deren Unterseite zur Entwickelung gelangen, Erscheinungen, welche ohne Zweifel eine gewisse Beeinflussung der Polaritätsverhältnisse durch direkte Schwerkraftwirkung dokumentieren. Uebrigens sind bei der-

artigen Versuchen mit Rücksicht auf das individuell recht verschiedenartige Verhalten der Zweigstücke stets eine Anzahl Objekte nebeneinander zu verwenden.

d) Experimente mit Kartoffelknollen. Kartoffelknollen werden im Winter (Januar oder Februar) in einem Kasten bei Lichtabschluß aufgestellt. Die Spitze mehrerer Knollen ist nach aufwärts, diejenige anderer nach abwärts gerichtet. Nach längerer Zeit ergibt sich, daß sich vorwiegend nur solche Knospen zu Trieben entwickeln, welche an der morphologischen Spitze der Knollen sitzen, d. h. an demjenigen Ende derselben, das dem Nabelende entgegengesetzt ist (vergl. Fig. 151).

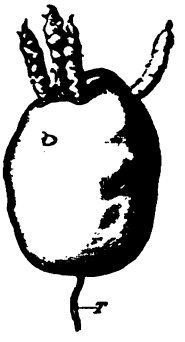


Fig. 151. Keimende Kartoffelknolle. *T* Tragfaden.

e) Experimente mit Wurzeln. 150 bis 180 mm lange und 10 mm Durchmesser besitzende Wurzelstücke von Populus pyramidalis werden genau in der unter a angegebenen Weise in einem Glascylinder aufgehängt. Die morphologische Spitze der Untersuchungsobjekte ist nach abwärts gerichtet. Adventivsprosse treten nur an der morphologischen Basis der Wurzeln, d. h. an der physikalisch oberen Hälfte derselben, hervor (Versuchsdauer 14 Tage bis 3 Wochen). Neue Wurzeln entstehen an dem Untersuchungsobjekt überhaupt nicht leicht.

258. Korrelationserscheinungen im Pflanzenreich.

a) Abies excelsa. Wenn man etwa mannshohe, im Walde wachsende Fichten ihres Gipfeltriebes beraubt, so ergiebt sich, daß sich im Laufe von 1—3 Jahren einer oder mehrere der horizontal abstehenden Seitensprosse des obersten Quirles erheben. Einer der Seitensprosse gewinnt gewöhnlich die Oberhand; er ersetzt dann den entfernten Gipfeltrieb vollständig. Dies zeigt sich nicht allein in seinem orthotropen Wuchs, sondern auch in der Form seiner Verzweigung. Ein horizontaler Seitensproß der Fichte verzweigt sich vorwiegend in horizontaler Richtung nach rechts und links, während ein normaler Gipfeltrieb oder ein diesen ersetzender aufgerichteter Seitensproß vier- oder fünfstrahlige Astquirle bildet.

b) Phaseolus multiflorus. Eine weitere Korrelationserscheinung kann man an Keimlingen von Phaseolus multiflorus leicht konstatieren. Wenn man dieselben in lockerer Gartenerde kultiviert und das Epikotyl, nachdem es einige Centimeter lang geworden ist, dicht über dem Boden abschneidet, so entwickeln sich statt des entfernten Stengelteils die in den Achseln der Kotyledonen vorhandenen Knospen zu Sprossen, welche bald aus dem Boden hervortreten.

c) Papaver. Es ist eine bekannte Tatsache, daß sich die Stiele der Blütenknospen fast aller Arten der Gattung Papaver in einem gewissen Entwickelungsstadium nach abwärts krümmen, eine Erscheinung, die, soweit die Untersuchungen reichen, auf Korrelation beruht. Die mit ihrem Stiel in organischer Verbindung befindliche Knospe übt auf denselben einen bestimmten Einfluß aus, welcher dahin führt, daß er sich stark krümmt und nach abwärts biegt. Der Beweis für das Gesagte liegt in dem Resultat des folgenden, zuerst von Vöchting ausgeführten Experiments, das man mit gutem Erfolg unter Benutzung einer im Freien

wachsenden Mohnpflanze wiederholen kann. Man schneidet einige Knospen von ihren Stielen ab und überläßt die letzteren nun ohne weiteres sich selbst oder befestigt in anderen Fällen die Knospen mit Hülfe feiner Seidenfäden wieder an ihren Stielen. Die Krümmung der Stiele verschwindet stets nach Verlauf einiger Zeit, und unser Versuch lehrt, daß ihr Vorhandensein keineswegs einfach Folge des Knospengewichtes ist, sondern auf Korrelation beruht.

d) Pavia. In hohem Grade lehrreich ist es, mit Rücksicht auf den uns hier interessierenden Gegenstand die Eigentümlichkeiten und das Verhalten der Knospenschuppen der Pflanzen genauer ins Auge zu fassen (Goebel). Bei Aesculus und Pavia sind die äußeren Schuppen der Winterknospen braun und häutig. Es folgen dann saftige, grüne, recht große Schuppen und endlich die Laubblätter. Die entwickelungsgeschichtliche Untersuchung lehrt schon, daß hier alle Knospenschuppen nichts anderes sind als auf geringen Stufen der Ausbildung zurückgebliebene Laubblätter (Goebel), und zu dem nämlichen Resultat führt das folgende Experiment. Wenn man Paviasprosse gleich nach dem Austreiben der Winterknospen, ohne die Zweige von der Mutterpflanze abzutrennen, entgipfelt und ihrer Blätter beraubt, so entwickeln sich die in den Blattachseln angelegten Knospen im Laufe des Sommers zu Laubtrieben, während sie normalerweise zu Winterknospen würden. Das Merkwürdige der sich geltend machenden Korrelationserscheinungen besteht nun aber darin, daß die zur Ausbildung kommenden Triebe keine Knospenschuppen, sondern (so beobachtete ich es wenigstens bei meinen Experimenten) nur Zwischenformen zwischen Schuppen und Laubblättern sowie Laubblätter produzieren. Die unteren Blätter der Sprosse haben kleine, aber schon gegliederte Spreiten, und diese letzteren sitzen einem grünen, schuppenartigen Blattteil auf, während die höher stehenden Blätter die Gestalt normaler Laubblätter besitzen. Es besteht bei Aesculus und Pavia sowie auch bei anderen Gewächsen demnach eine sehr ausgeprägte Korrelation zwischen dem Vorhandensein resp. der Abwesenheit des Gipfels sowie der Blätter einerseits und der Form, in der die Entwickelung der Knospen vor sich geht, andererseits.

254. Anisotropie der Pflanzenteile.

a) Orthotrope Organe. Wir haben gesehen, daß sich Hauptwurzeln und viele Stengel, wenn sie horizontal gelegt werden, nach abwärts oder nach aufwärts krümmen. Bei den Wurzeln ist der Geotropismus, bei den Stengeln ist Geotropismus und Heliotropismus in erster Linie maßgebend für die vertikale Stellung der Pflanzenteile.

b) Nebenwurzeln. Phaseoluskeimlinge werden genau so, wie unter 213 a angegeben worden ist, im Zinkkasten bei Lichtabschluß kultiviert. Wenn eine Anzahl von Nebenwurzeln zur Ausbildung gelangt ist, bezeichnen wir die Richung ihrer Spitzen durch auf die Außenfläche der Glasscheibe angebrachte Tuschestriche. Jetzt setzen wir unseren Apparat bei konstant bleibender Temperatur dem Einflusse des diffusen Tageslichtes aus. Die Spitzen der Nebenwurzeln verändern, wie schon nach 24 Stunden unzweifelhaft hervortritt, ihre Wachstumsrichtung erheblich. Freilich wachsen die Wurzeln auch bei Lichtzutritt nicht senkrecht nach abwärts, aber der geotropische Grenzwinkel der neugebildeten Wurzelteile ist doch ein erheblich geringerer als derjenige der im Finstern erstandenen. Das Licht ist also im stande, das geotropische Verhalten der Wurzeln in bestimmter Weise zu beeinflussen. (Stahl.)

c Blüte von *Ipomoea purpurea*. Die Blütenstiele werden in der unter 218 b angegebenen Weise behandelt, aber in vertikaler oder besser in horizontaler Stellung unter einer Glasglocke einseitig beleuchtet. Die Pflanzenteile zeigen unter diesen Bedingungen dieselbe Art von im Dunkeln ein diageotropisches Verhalten, indem die wachsenden Spitzen krümmen sich im Laufe einiger Tage vertikal nach abwärts. Die Abwärtskrümmung erfolgt dann nach einer, dann nach einer beliebigen Seite hin, sie zeigt keine bestimmten Beziehungen zu dem Lichteinfall. Die Licht perzipierenden sind hier wieder die geotropischen Verhalten der Organe in eigentümlicher Art. Stahl.

d Stengel von *Impatiens*. Von besonderem Interesse ist ein Blumentopf mit weißen Samen von *Impatiens noli tangere*. Setzen wir die Versuchspflanze senkrecht darüber Licht aus, so krümmen sich die jüngsten der Keimpflanzen negativ heliotropisch dem Licht zu, kultivieren wir aber unsere Pflanze vor dem Fenster bei möglichst allem Licht, so verhalten sich die einzelnen Glieder deutlich zunächst positiv heliotropisch, später aber weichen sie sich ebenso wie die weiteren so entstehenden Stengelglieder negativ heliotropisch von der Lichtquelle ab. Der Einfluß intensiven Lichtes tritt also einen Diageotropismus der Impatiensstengelspitzen hervor; derselbe ist aber kein bedingungsloser, denn die Achsenglieder unserer Pflanze bewahren stets ihr Lichtsuchen auf ihrer abwärtsgehenden Bahn einen multilateralen, oder schiefen Charakter. Sachs.

e Tragopogon. Wenn man im Freien wachsende Exemplare von Tragopogon orientale zur Blütezeit betrachtet, so findet man, daß die Blütenstände nur an Morgen geöffnet sind. Sie schließen sich im Laufe des Vormittags. In der Morgenstunde sind nur die Blütenköpfchen nach Osten gewandt. Sie folgen am Tage dem Laufe der Sonne über Süden nach Westen und richten sich in der Nacht gegen Osten. Die Bewegung der Blütenstände von Tragopogon wird durch ein sie tragendes Streckungswachstum vermittelt. Dieses ist zur Blütezeit der Pflanze stark heliotropisch reizbar und wächst an seiner gegen Osten gerichteten Flanke immer stärker als an seiner der Sonne direkt zugekehrten, also daß die aufgerichtete Bewegungserscheinung resultieren muß. Wiesner.

f Agapanthus. Wir experimentierten mit 12 cm langen Ausläufern von Agapanthus. Es ist sorgfältig auf die Auswahl möglichst gleichartiger Ausläufer zu achten. Wir bringen dieselben in unserem mit auf angefeuchtetem Zeitungspapier Fig. 124 in horizontale Lage. Fünf Ausläufer orientieren wir so, daß ihre Oberseite nach oben gekehrt ist, *a* bis *e*. Andere Ausläufer bringen wir in eine inverse Lage *f* ; ihre Oberseite ist nach unten gewandt. Nach beendigtem Versuche in dem dunklen Zimmer haben sich die Spitzen von *a* und etwas gekrümmt, ihre Spitze ist geotropisch aufgerichtet. Die Spitzen von *b* sind stark nach aufwärts gekrümmt. Bei *a* ist die Aufwärtskrümmung Folge der Epinastie der Pflanzenteile. Bei *b* wirken Geotropismus und Epinastie zusammen, um die starke Aufwärtskrümmung herbeizuführen. Unter normalen Umständen fällt der Pflanzenteil des Agapanthus in derselben durch Zusammenwirken des negativen Geotropismus und der Epinastie zu starke Krümmung.

g Atropa. Außerordentlich stark epinastisch sind auf jeden Fall die Blüten tragenden, unter normalen Verhältnissen horizontal gerichteten

Sprosse von Atropa Belladonna. Schneidet man solche Sprosse ab und stellt sie mit ihrer Basis in Wasser, so findet man, daß die bei Beginn des Versuches vertikal gerichteten Sproßenden nach Verlauf von 12 Stunden, während welcher Zeit die Untersuchungsobjekte im Dunkeln verweilt haben, horizontal gerichtet sind (vergl. Fig. 152).

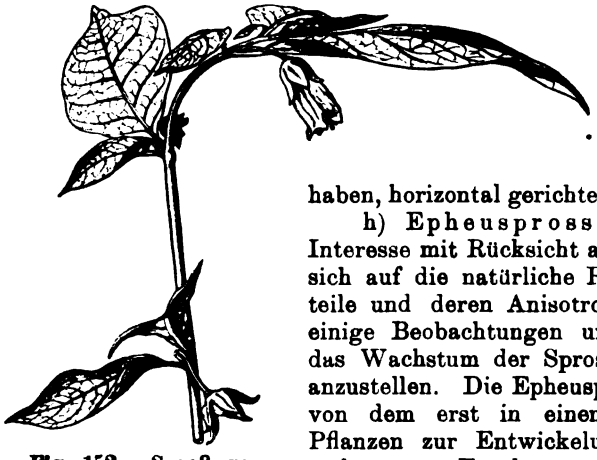


Fig. 152. Sproß von Atropa Belladonna, dessen Gipfel sich epinastisch gekrümmt hat.

h) Epheusprosse. Von besonderem Interesse mit Rücksicht auf die Fragen, welche sich auf die natürliche Richtung der Pflanzenteile und deren Anisotropie beziehen, ist es, einige Beobachtungen und Experimente über das Wachstum der Sprosse von Hedera Helix anzustellen. Die Epheusprosse sind, abgesehen von dem erst in einem höheren Alter der Pflanzen zur Entwickelung kommenden und orthotropen Fruchtsprosse, ausgeprägt dorsiventral und plagiotrop. Werden frei schwebende Epheusprosse von etwa 30 cm Länge abgeschnitten, in Töpfe eingepflanzt und nach Verlauf von 6—8 Wochen, wenn sie kräftig angewurzelt sind, an einem vertikalen Stab festgebunden, so kann man an dem über das Stabende hervorragenden Gipfel der Sprosse unter geeigneten Umständen interessante Erscheinungen wahrnehmen.

Fig. 153. Sproß von Hedera Helix, dessen Gipfel sich bei einseitiger Beleuchtung von den einfallenden Lichtstrahlen weggekrümmt hat.

Wenn wir die Epheupflanzen, die in der soeben angegebenen Weise vorbereitet worden sind, im August vor das Fenster eines nach Norden gelegenen Zimmers stellen, zeigt sich, daß die Sproßenden sich alsbald vom Fenster wegwenden. Die Gipfelenden wachsen in horizontaler Richtung in das Zimmer hinein und besitzen nach Verlauf von 4 Wochen das in Fig. 153 dargestellte Aussehen. Die Sprosse führen negativ heliotropische resp. photoepinastische Krümmungen aus (über den Modus der Lichteinwirkung sind übrigens noch weitere Untersuchungen anzustellen). Die Lichtseite der Sprosse muß infolgedessen konvex werden und eine Horizontalstellung der Sproßenden herbeiführen. Ist dies erreicht, so krümmen sich die Sproßenden nicht noch weiter nach abwärts, weil jetzt der negative Geotropismus (die geotropischen Eigenschaften der Epheusprosse sind von Sachs speziell konstatiert) sein Recht

energisch geltend machen kann. Es ergibt sich, daß die Horizontalstellung der Epheusprosse also eine Resultierende aus der richtenden Wirkung des Lichtes einer- und der Schwerkraft andererseits ist. Dieselben Momente sind auch maßgebend für die Richtung, welche die Sprosse der in der freien Natur wachsenden Epheupflanzen einschlagen. (Näheres bei SACHS.)

i) Blattstiele und Blattrippen. Wir benutzen Blattstiele von Petasites alba, Caltha palustris, Blattmittelrippen von Sambucus nigra, Juglans regia und Blattrippen von Ulmus campestris zum Versuch. Die Pflanzenteile haben eine Länge von etwa 10 cm. Sie müssen sich noch im wachsenden Zustande befinden, und es werden immer mindestens je 2 sehr gleichartig entwickelte Objekte ausgesucht. Das Versuchsmaterial gelangt in der unter f angegebenen Weise in den Zinkkasten, *a* normal, *b* invers. Wenn sich die Untersuchungsobjekte in normaler Lage nach abwärts, in inverser stärker nach aufwärts krümmen, so wirkt in ihnen die Epinastie energischer als der negative Geotropismus. Wenn, wie z. B. bei Pavia rubra, die Blattstiele in normaler Lage fast gerade bleiben, sich aber in inverser Lage aufwärts krümmen, dann sind Epinastie und negativer Geotropismus ungefähr gleich wirksam. Uebrigens muß besonders betont werden, daß das Alter der wachsenden Pflanzenteile den Erfolg der Experimente wesentlich beeinflußt. Um genauere Anhaltspunkte über die Größe der erzielten Krümmungen zu gewinnen, kann man die Krümmungsradien bestimmen.

k) Belastung. Werden wachsende Blattstiele von Caltha, und zwar teils nach Entfernung, teils ohne Beseitigung der Spreite, im Zinkkasten in horizontale Lage gebracht, so daß die Oberseite der Organe nach oben gewandt ist, dann krümmen sich die Stiele, denen man die Spreite gelassen hat, fast gar nicht, während sich die Vergleichsobjekte recht erheblich nach aufwärts krümmen.

l) Photoepinastie der Blätter und photoepinastische Nachwirkungen. Man kultiviert Keimpflanzen von Phaseolus oder Cucurbita im Dunkeln in Blumentöpfen. Bei etwa 20° hat sich das epikotyle Glied von Cucurbita in 10 Tagen zu beträchtlicher Länge entwickelt. Die Kotyledonen sind gerade aufgerichtet; sie schließen mit ihrer Oberseite dicht zusammen. In etwa 14 Tagen ist das Epikotyl von Phaseolus recht lang geworden, und die langgestielten Primordialblätter zeigen infolge hyponastischen Wachstums muscheliges Aussehen. Werden die Keimpflanzen nunmehr hellem, diffusem Tageslicht ausgesetzt, so verlieren die Primordialblätter der Bohne infolge epinastischen Wachstums ihre muschelige Gestalt; ebenso wächst jetzt die Oberseite der Cucurbitakotyledonen lebhaft, so daß diese Organe aus ihrer ursprünglichen orthotropen in eine plagiotrope Stellung übergehen. Das Licht ruft aber erst das energischere Wachstum der Blattoberseite hervor; im Finstern kommt dasselbe nicht zu stande. Die Epinastie ist keine spontane, sondern eine paratonische Nutationserscheinung, und wir reden fernerhin nicht mehr kurzweg von Epinastie, sondern von Photoepinastie der Blätter. Bringen wir unsere Phaseolus- oder Cucurbitakeimlinge, nachdem sie im Finstern das bezeichnete Entwickelungsstadium erreicht haben, 3—5 Stunden lang in diffuses Licht, so ist noch keine photoepinastische Bewegung eingetreten. Stellen wir die Untersuchungsobjekte nun aber ins Dunkle zurück, dann breiten sich die Blätter im Laufe von 6—12 Stunden aus. Es kommt hier also eine photoepinastische Nachwirkungserscheinung zur Geltung.

Die photoepinastischen Nutationen treten stets ein, wenn die im Dunkeln erwachsenen und noch nicht zu alten Keimpflanzen beleuchtet werden, mag das Licht die Untersuchungsobjekte von oben oder in einer anderen Richtung treffen. Die Blätter suchen sich nahezu rechtwinklig zu der Richtung der einfallenden Lichtstrahlen zu stellen, und bei den Experimenten mit Cucurbita wird man auch leicht die Tatsache konstatieren, daß hier — und Aehnliches gilt ebenso für andere Fälle — ein Organ (nämlich das hypokotyle Glied) einen wesentlichen Einfluß auf die schließliche Orientierung anderer Organe (der Kotyledonen) zum Licht geltend macht. Das stark positiv heliotropische Verhalten des hypokotylen Gliedes spielt bei dem Zustandekommen der Lichtlage der Blätter, wenn die Keimpflanzen nur von einer Seite aus beleuchtet werden, eine wesentliche Rolle.

m) Experimente mit Cucurbita. Wir kultivieren Keimpflanzen von Cucurbita Pepo bei Lichtausschluß, bis das Hypokotyl 7 cm lang geworden ist. Nun beleuchten wir die Keimlinge (in jedem Blumentopf befindet sich nur einer derselben) von oben her. Die Kotyledonen breiten sich aus. Jetzt wird jedes Hypokotyl an einem Stab festgebunden und der Topf in einem Kasten, dessen Boden mit feuchtem Sand bedeckt ist, und der mit einer Glasplatte verschlossen werden kann, horizontal gelegt. Die Kotyledonen sind vertikal nach auf- und abwärts gerichtet. Beleuchten wir die Untersuchungsobjekte aber, so finden wir die Keimblätter nach 24 Stunden wieder in horizontaler Stellung. Stellen wir jetzt den Topf senkrecht auf und lassen das Licht von oben her einwirken, dann orientieren sich die Keimblätter abermals rechtwinklig zu den einfallenden Strahlen.

In konkreten Fällen spielt der Geotropismus eine wichtige Rolle bei dem Zustandekommen der fixen Lichtlage der Blätter (dieselben orientieren sich im allgemeinen rechtwinkelig zum „stärksten diffusen Licht") und anderer Pflanzenteile. Aber schon die zuletzt angeführten Versuche lehren, daß vielfach das Licht allein die Orientierungsbewegungen veranlaßt. „Dieselben vollziehen sich auf dem kürzesten Wege mit Ueberwindung der geringsten Schwierigkeiten." Sie sind von verschiedener Natur (photoepinastische Nutationen, Torsionen, heliotropische Bewegungen) und bedingt durch die ursprüngliche Stellung der Blätter selbst. Bei dem Zustandekommen der Orientierungsbewegung der Blätter braucht der Geotropismus, wie gezeigt werden soll (vergl. unter n), keine Rolle zu spielen. Ihre geotropische Reizbarkeit kann sogar wahrscheinlich durch Lichtwirkung aufgehoben werden.

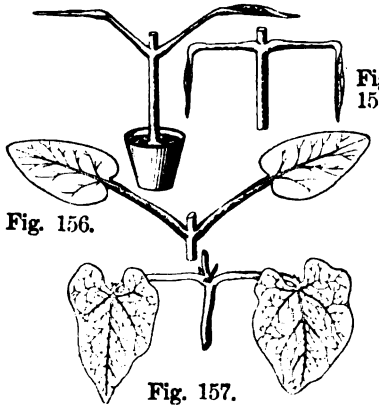


Fig. 154—157. Junge Phaseoluspflanzen. (Nach SCHWENDENER.)

n) Versuche bei Ausschluß des Geotropismus. Wir kultivieren Keimlinge von Phaseolus in Blumentöpfen, bis die Primordialblätter sich eben ausgebreitet haben. Die Pflanzen (es wird immer nur ein Individuum in jedem Blumentopf zur Entwickelung gebracht) sind von oben her beleuchtet worden, vergl.

Fig. 154. Nun befestigen wir die Epikotyle durch Umwickeln mit Garn an kleinen Holzstäben. Eine Pflanze wird im diffusen Licht im Zimmer so aufgestellt, daß die Strahlen horizontal, und zwar annähernd senkrecht zur Insertionsebene der Blätter, einfallen. Nach etwa 24 Stunden haben sich die Blattstiele etwas nach vorn gebogen, und die Spreiten haben sich durch Torsion derartig gekrümmt, daß sie rechtwinklig von den Lichtstrahlen getroffen werden (vergl. Fig. 156). Andere, ebenfalls an Stäben befestigte Pflanzen, welche die in Fig. 154 angegebene Blattstellung besitzen, unterzieht man im Zimmer bei möglichst hellem, diffusem Licht langsamer Drehung am Klinostaten. Die Sproßachsen beschreiben eine senkrecht stehende Kreisfläche; das Licht fällt ziemlich senkrecht zur Insertionsebene der Blätter ein. (Vergl. Methode unter 222.) Das Zustandekommen geotropischer Krümmungen ist ausgeschlossen. Nach etwa 8-stündiger Rotation haben die Blätter ungefähr die in Fig. 155 wiedergegebene Stellung erreicht. Die Blattstiele sind horizontal gestellt, aber freilich etwas nach vorn gewandt. Die Epinastie der Blattstielgelenke ist zur Geltung gekommen, und solche Epinastie hat zugleich eine Vertikalstellung der Blattspreiten bedingt. Setzen wir den Rotationsversuch fort, dann finden wir die Blattspreiten infolge heliotropischer Bewegungen ihrer Gelenke später in der in Fig. 157 wiedergegebenen Stellung. Die Blätter haben ihre Lichtlage im Versuch also ohne Mitwirkung geotropischer Krümmungen erreicht. (Schwendener.)

IX. Die Festigung der Pflanzen.

Die Gewächse bedürfen, ebenso wie die Tiere, bestimmter Einrichtungen, um gewissen äußeren Einwirkungen gegenüber widerstehen und ihre Gestaltungen bewahren zu können. Die Organe der Pflanzen müssen je nach Umständen einen geringeren oder höheren Grad von Biegungsfestigkeit, Druckfestigkeit, Zug- oder Schubfestigkeit besitzen, wenn sie überhaupt erhalten bleiben sollen. Vielfach spielt schon der Turgor der Zellen eine wichtige Rolle bei Herstellung der Festigkeit der Pflanzenteile; indessen in der Regel bedarf es besonderer Einrichtungen, um diese Festigkeit sicher und in vollkommenem Maße zu erzielen. Dazu wird im Organismus das mechanische Gewebe (Stereom), dessen einzelne Elemente man Stereiden nennt, ausgebildet.

Am wenigsten benachteiligt durch an dieser Stelle in Betracht kommende äußere Einflüsse sind offenbar Gewächse, die in stehenden Gewässern leben. Reichliche Ausbildung des Intercellularsystems sind hier für genügende Durchlüftung und zur Gewinnung der Schwimmfähigkeit von höchster Bedeutung; die Entwickelung des Stereoms tritt aber ganz in den Hintergrund. Ganz anders liegen die Verhältnisse bei solchen Pflanzenteilen, die Lasten zu tragen haben (Stämme der Bäume), die starkem Zug ausgesetzt sind (Fruchtstiele) oder die durch Windwirkung sowie andere Momente auf Biegungsfestigkeit in Anspruch genommen werden. Hier darf das Stereom nicht fehlen. Dasselbe tritt auf in Gestalt von Bastfasern (langgestreckten, mit spitzen Enden zwischeneinander greifenden, stark verdickten Zellen mit spaltenförmigen Tüpfelkanälen), von Libriformfasern und Sklerenchym (die in vieler Hinsicht den Bastfasern in ihrem histologischen Charakter gleichen, während es andererseits auch nicht prosenchymatisch ausgebildetes Sklerenchym

gibt) und von Kollenchym (einem prosenchymatischen oder parenchymatischen, besonders zur Festigung junger Pflanzenteile dienenden Gewebe, dessen Elemente vielfach nur an den Zellkanten stark verdickt erscheinen). Die Entwickelungsgeschichte des mechanischen Systems kann hier nicht erörtert werden. Die Ausdrücke „Bastfasern" und „Sklerenchym" sind hier im älteren Sinne gebraucht worden.

Quantität und Qualität der Ausbildung mechanischer Elemente in einem Organ sind in erster Linie bestimmt durch ererbte Zustände desselben. Ob in noch wachsenden Organen, die einem mechanischen Zug ausgesetzt werden, stärkere Verdickung der schon vorhandenen Stereiden erfolgt, ist noch zweifelhaft.

Sehr merkwürdig sind die namentlich von Schwendener und Ambronn studierten physikalischen Eigenschaften der Stereiden. Das Tragmodul des Bastes (repräsentiert durch die auf die Flächeneinheit des Querschnittes bezogene Belastung, bei der die Elastizitätsgrenze noch nicht überschritten ist) muß als ein sehr bedeutendes bezeichnet werden. Bei Phormium tenax = 20 kg pro Quadratmillimeter, bei Secale cereale = 15—20 kg pro Quadratmillimeter. Das Festigkeitsmodul (repräsentiert durch die auf die Flächeneinheit bezogene Belastung, bei der das Zerreißen erfolgt) liegt nicht viel höher. Für Phormiumbast = 25 kg pro Quadratmillimeter. Der Bast ist auch recht dehnbar. Was das Kollenchym anbelangt, so zeigt es ebenso wie der Bast große Festigkeit, aber im Gegensatz zu demselben bedeutend geringere Elastizität. Diese Eigenschaft des zumal in jugendlichen Pflanzenteilen reich ausgebildeten Kollenchyms ist aber sehr wichtig, denn wäre das Gewebe recht elastisch, so würde es das Wachstum benachbarter Teile stark beeinträchtigen.

Die Anordnung der Stereiden in den Pflanzenteilen ist je nach mechanischer Inanspruchnahme derselben eine sehr verschiedenartige. Organe, die scherenden Kräften (z. B. des Windes) ausgesetzt und somit der Gefahr des Zerrissenwerdens preisgegeben sind, müssen schubfest gebaut sein. Die Spreiten der Blätter gewinnen Schubfestigkeit durch reiche Verzweigung der das Mesophyll durchziehenden derben Nerven; der Blattrand wird durch besonders starke Verdickung der Außenwand seiner Epidermiszellen oder durch nahe an ihn herantretende mechanische Elemente (z. B. durch mit Bastfaserbelegen versehene Gefäßbündel) schubfest. Die Stämme der Bäume erlangen gewaltige Druckfestigkeit (Säulenfestigkeit), zumal durch die Ausbildung zahlreicher Libriformfasern in ihrem Holzkörper.

Bei Herstellung allseits biegungsfester Konstruktionen (zumal der Stengel) genügt es, wenn die mechanischen Elemente rings im Umkreis des Querschnittes, also peripherisch angeordnet sind. Die Füllung zwischen den Gurtungen wird von Parenchym und anderem Gewebe gebildet. Bei vielen Organen, zumal den Blättern, die keiner allseitigen Biegungsfestigkeit bedürfen, ist das mechanische Gewebe nur auf Ober- und Unterseite verteilt. Zugfeste Konstruktionen werden dadurch erzielt, daß die mechanischen Gewebe zentral, und zu einer einzigen kompakten Masse verbunden, angeordnet sind. Bei Herstellung druckfester Konstruktionen ist es nicht gleichgültig, ob dieselben auf einen longitudinalen oder radialen Druck in Anspruch genommen werden. Wurzeln und Rhizome sind im Boden einem erheblichen Zuge, aber auch radialem Druck ausgesetzt, weshalb sie häufig mit einem peripherisch gelegenen Mantel mechanischen Gewebes versehen sind. (Schwendener, Das

mechanische Prinzip im anatomischen Bau der Monokotylen, Leipzig 1874; Haberlandt, Physiologische Pflanzenanatomie, 3. Aufl., 1904; Ambronn, Pringsheims Jahrbücher, Bd. 12.)

255. Physikalische Eigenschaften der Stereiden.

Der zu benutzende, sehr solide konstruierte Apparat (vergl. Fig. 158) besteht aus einem Brett *B*, auf dem die beiden Holzsäulen *H* und *H'* von ca. 86 cm Höhe befestigt sind. Der Zwischenraum zwischen den Säulen beträgt 46 cm. Der zu untersuchende Pflanzenteil von ca. 200 bis 300 mm Länge wird mit seinem oberen Ende zwischen die Holzklötze *a* und *b*, mit seinem unteren aber zwischen die Holzklötze *c* und *d* durch Anziehen der Schrauben *sch* und *sch'* eingeklemmt. Die Schale *Sl*, welche an *c* und *d* hängt, dient zur Aufnahme von Gewichten, um das Untersuchungsobjekt zu dehnen resp. zu zerreißen. An dem Häkchen *Hk* des Holzklotzes *c* ist ein Seidenfaden *F* befestigt, der durch eine Bohrung, welche die Berührungsfläche der Klötze *a* und *b* in sich aufnimmt und durch diese halbiert wird, über die leicht bewegliche Rolle *R* und durch eine Bohrung in *a* geführt ist. An seinem Ende trägt der Faden *F* das spannende Gewicht *g*. Die Rolle *R* trägt den Zeiger *Z*, der die 10-fache Länge des Radius der Rolle besitzt. *Z* spielt vor dem in Millimeter eingeteilten Gradbogen *Gr*. Die infolge der Belastung eingetretene Ausdehnung des zu untersuchenden Pflanzenteiles kann also verzehnfacht am Gradbogen abgelesen werden. Beim Gebrauch des Apparates sind dicht unter die Schale *Sl* Holzklötze *K* zu stellen, damit die Fallhöhe der belasteten Schale beim Zerreißen des Pflanzenteiles eine nur geringe ist.

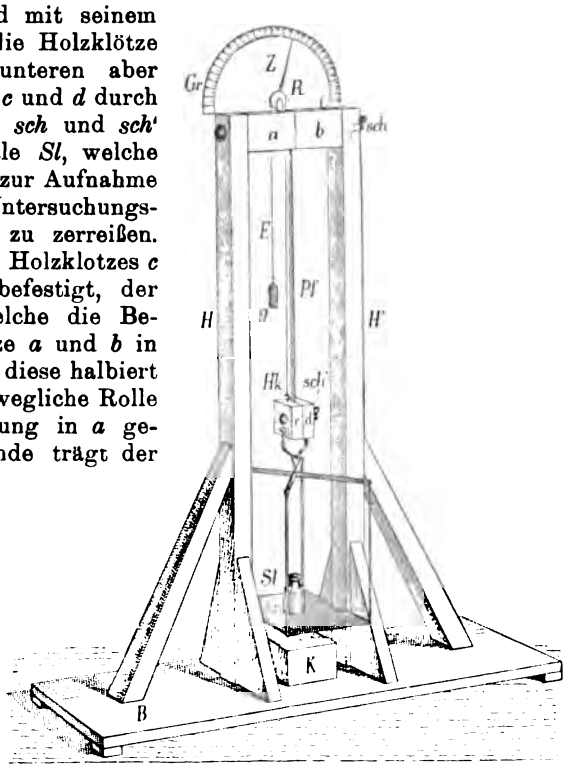


Fig. 158. Apparat zur Bestimmung der Dehnbarkeit, Elastizität und Festigkeit von Pflanzengeweben.

Zur Beobachtung verwendet man zweckmäßig einen etwa 200 bis 300 mm langen und 5 mm breiten Riemen, aus dem rechts oder links von der Mittelrippe liegenden Teil des sklerenchymreichen Blattes von Phormium tenax. Bei Untersuchungen über die Festigkeitsverhältnisse des Kollenchyms sind z. B. Streifen aus dem Blattstiel von Levisticum officinale zu benutzen. Ist ein Pflanzenteil in den Apparat eingespannt, so wird die Schale zunächst z. B. mit 100 g belastet, die Größe der eingetretenen Dehnung notiert und das Gewicht wieder entfernt. Die Ablesungen am Gradbogen sind immer erst einige Zeit nach dem Auf-

setzen, resp. nach dem Entfernen der Gewichte vorzunehmen. Nimmt das Untersuchungsobjekt jetzt seine ursprüngliche Länge aufs neue an, so ist durch die Dehnung seine Elastizitätsgrenze noch nicht überschritten worden. Man wiederholt den Versuch nun mit 200, 300, 400, 500, 1000, 2000, 3000 g etc. Belastung, bis der Pflanzenteil bei einer gewissen Belastung zerreißt. Kollenchymreiche Pflanzenteile erweisen sich bei den Experimenten, im Gegensatz zu sklerenchymreichen, sehr unvollkommen elastisch. Zur genaueren Bestimmung der Festigkeit eines Gewebestreifens muß man dieselbe auf 1 qmm Stereomfläche berechnen. Unser 5 mm breiter Riemen aus dem Phormiumblatt enthält nach SCHWENDENER 0,6 qmm mechanischen Gewebes. Reißt der Riemen z. B. bei 10 kg Belastung, so wäre das Festigkeitsmodul pro Quadratmillimeter, in Kilogramm ausgedrückt, fast gleich 17. Es hat übrigens häufig Schwierigkeiten, die wirkliche Querschnittfläche des Stereoms genau zu ermitteln. In vielen Fällen ist man hier, indem man Schnitte aus dem auf seine Festigkeit zu prüfenden Pflanzenteil mikroskopisch untersucht, auf ungefähre Schätzung angewiesen. Ueber die Methoden der genaueren Untersuchung vergleiche in den zitierten Schriften. Bei Versuchen über die Elastizitätsverhältnisse des Sklerenchyms und Kollenchyms kann man z. B. folgende Resultate erhalten. 230 mm lange und 4,5 mm breite Streifen aus dem Blatt von Phormium (*a*) und dem Blattstiel von Levisticum (*b*) dienen zum Experiment. *b* erweist sich schon bei 200 g Belastung unvollkommen elastisch, d. h. der Pflanzenteil nimmt nach Entfernung des Gewichtes (das Gewicht der Schale *Sl* und der Klötze *c* und *d* ist nicht mitgerechnet) seine ursprüngliche Länge nicht wieder völlig an. Der sklerenchymhaltige Streifen von *a* wird erst bei höherer Belastung unvollkommen elastisch.

256. Anordnung des mechanischen Gewebes in biegungsfesten Pflanzenteilen. .

Blattstiel von Begonia: Epidermis, darunter mächtiger Kollenchymring, welcher Parenchymgewebe, in welchem die Gefäßbündel verteilt sind, umgibt. Stengel von Lamium album: Kollenchymgurtungen in den 4 Kanten, die 2 kreuzweise kombinierte Träger bilden. Stengel von Falcaria Rivini: Großes Mark, Gefäßbündelkreis, unter Epidermis Kollenchymstränge als mechanisches Gewebe, welche mit Assimilationsparenchym wechseln. Blütenschäfte von Papaver, Armeria maritima, Lychnis viscosa und Anthericum ramosum: Epidermis, grünes Gewebe, Sklerenchymring, Gefäßbündel, Mark. Halm von Juncus glaucus: Epidermis, unter dieser abwechselnd grünes Gewebe und Sklerenchymbündel; man sieht ferner im Querschnitt zahlreiche im Grundgewebe verteilte Gefäßbündel und weite Luftkanäle. Die Bündel sind auf Innen- sowie Außenseite mit Bastbelägen versehen. Blütenschaft von Sesleria coerulea: Das Bild des Querschnittes ist leicht zu deuten; es interessieren uns besonders die als mechanisches Gewebe dienenden Bastbeläge der Gefäßbündel. Halme von Molinia coerulea: Es ist hier ein geschlossener Ring mechanischen Gewebes vorhanden, der noch durch subepidermale Rippen, die an ihn anschließen, verstärkt wird. Gefäßbündel jenem Ring teils ein-, teils angelagert. Secale: Der Halm ist ähnlich wie derjenige von Molinia gebaut. Blattscheide des Roggens: Wir stellen den Schnitt aus einem Teil des Roggenhalmes her, der über einem jungen Knoten liegt. Innenseite und Außenseite der Blattscheide besitzen eine Epidermis. Jener ist chlorophyllfreies, dieser chlorophyllhaltiges

Grundgewebe angelagert; die Gefäßbündel auf Innen- sowie Außenseite mit mächtigen Bastfaserbelägen versehen.

Um die Anordnung mechanischen Gewebes in nicht allseitig biegungsfesten Organen kennen zu lernen, stellen wir Querschnitte durch das Blatt von Phormium tenax und durch die Mittelrippe völlig ausgewachsener Blätter von Zea Mays her. Phormium: Das Blatt ist im oberen und unteren Teil nicht völlig gleichartig gebaut, aber die Stereombündel, welche die Gefäßbündel bedecken, treten auf jeden Fall deutlich hervor. Zea: Die Oberseite der Mittelrippe zeigt subepidermale Sklerenchymmassen, das mechanische Gewebe der Unterseite steht in genauer Beziehung zur Gruppierung der größeren Gefäßbündel.

257. Anordnung des mechanischen Gewebes in zug- und druckfesten Organen.

Rhizom von Carex glauca: Der freilich nicht sehr mächtige peripherische Sklerenchymring gewährt Schutz gegen radialen Druck. Der zentral gelegene, aus dickwandigen Elementen bestehende Hohlcylinder, in welchen die meisten Gefäßbündel eingestreut sind, dient zur Herstellung der Zugfestigkeit des Organes. Nebenwurzeln 1. Ordnung von Zea Mays: Ganz ähnlicher Bau, wie bei Carexrhizom; der peripherische Sklerenchymring ist bei Zea aber viel mächtiger ausgebildet.

Zu 256 und 257 vergleiche die schon angegebene Literatur. Es sei zu 256 und 257 auch noch bemerkt, daß Sklerenchym und Bastfasern, da sie verholzt sind, durch Rotfärbung sehr schön hervortreten, wenn man die Schnitte mit Phloroglucin und Salzsäure behandelt. (Vergl. unter 50.)

X. Variationsbewegungen.

Die Variationsbewegungen der Pflanzen, über welche bereits vor längeren Jahren namentlich PFEFFER grundlegende Studien anstellte, kommen nicht durch Wachstumsvorgänge (nur bei den Bewegungen der noch ganz jugendlichen Organe greifen diese ein), sondern durch Turgorveränderungen der Zellen zu stande.

Vielfach werden die Variationsbewegungen durch besondere Organe (Blattgelenke) vollzogen, die aus sehr mächtig entwickeltem Parenchym und zentral gelegenen, biegsamen Gefäßbündeln aufgebaut sind. Indem nun unter bestimmten Umständen durch Reizursachen der Turgor der Zellen einer Gelenkhälfte zunimmt, derjenige der Zellen der antagonistischen Gelenkhälfte aber sinkt, müssen Krümmungen des Gelenkes resultieren, welche Veranlassung zu Bewegungen der Organe geben. (SCHWENDENER, JOST.)

Ebenso wie bei den Wachstumsbewegungen sind auch bei den Variationsbewegungen einerseits autonome (aus inneren Ursachen resultierende) und andererseits paratonische zu unterscheiden.

Ueber die Organe, welche die zu Variationsbewegungen führenden Reize perzipieren, und über Reizleitung vergl. man S. 215 und 216.

Biologisch wichtig ist, daß manche Variationsbewegungen (autonome und solche, welche durch den Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse bedingt werden) transpirationsfördernd wirken können. (Vergl. S. 101.)

Die auf Stoßreiz erfolgenden Bewegungen der Mimosa pudica haben, wie angenommen wird, Bedeutung zum Schutz gegen Zerstörung der Blätter durch Hagel und Tiere. Die Variationsbewegungen der Fila-

mente und Narbenlappen mancher Pflanzen stehen im Dienste der Bestäubungsverhältnisse der Blüten. (Pfeffer, Physiolog. Untersuchungen, 1873, und ferner Die periodischen Bewegungen der Blattorgane, 1875; Jost, Jahrb. f. wissensch. Botanik, 1898.)

258. Nyktitropische Bewegungen.

a) Acacia lophanta. Die Pflanze läßt sich leicht aus Samen im Zimmer kultivieren. Die Blättchen des zusammengesetzten Blattes sind am Tage bei hellem, diffusem Licht horizontal ausgebreitet. Abends legen sich die Blättchen nach oben zusammen, um sich am folgenden Tage wieder auszubreiten. Wird das Untersuchungsobjekt am Tage unter einen Zinkblechrezipienten gestellt, so legen sich die Blättchen z. B. im Verlauf einer Stunde zusammen. Bei Lichtzutritt breiten sie sich abermals aus. Alle diese Erscheinungen, die man auch im Winter konstatieren kann, sind Folgen des Wechsels der Beleuchtungsverhältnisse; sie machen sich bei konstant bleibender Temperatur geltend.

Eine Acaciapflanze wird unter einer Glasglocke direktem Sonnenlicht ausgesetzt. Die Blättchen legen sich zusammen; breiten sich aber in diffusem Licht wieder aus.

Eine nicht zu junge Acaciapflanze verweilt unter einem Zinkblechrezipienten in konstanter Finsternis. Zur Tageszeit sind die Blättchen ausgebreitet, zur Zeit der Nacht aber zusammengelegt, trotzdem der Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse keinen direkten Einfluß auf das Untersuchungsobjekt geltend macht. Wir haben es hier mit Nachwirkungserscheinungen zu tun. Die periodischen Bewegungen sind durch den Einfluß normaler Beleuchtungsverhältnisse vor Anstellung des

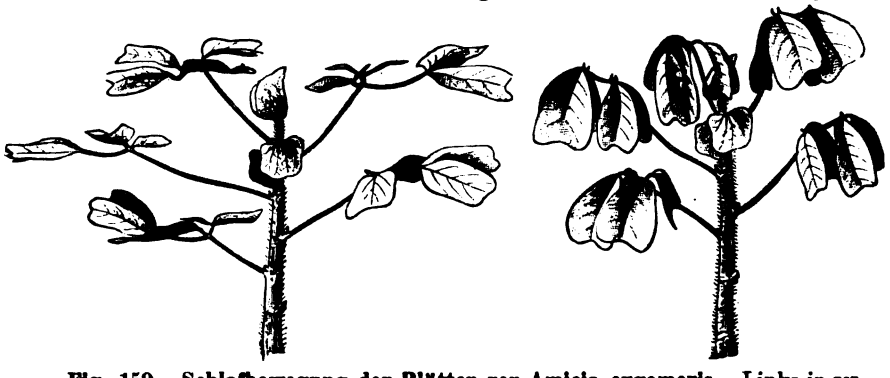


Fig. 159. Schlafbewegung der Blätter von Amicia zygomeris. Links in zerstreutem hellem Tageslicht mit ausgebreiteten Blättchen, rechts nach Verdunkelung in Schlafstellung. (Nach Noll.)

Experiments induziert worden, und sie können in konstanter Finsternis z. B. 4 Tage lang, freilich mit abnehmender Amplitude, fortdauern. Die dunkelstarr gewordenen Blättchen sind teils (ältere Blättchen) horizontal ausgebreitet, teils mehr oder weniger nach oben zusammengelegt. Der phototonische Zustand der Blättchen kehrt zurück, und sie reagieren abermals auf den Wechsel der Beleuchtungsverhältnisse, wenn sie dem Licht ausgesetzt werden.

b) Trifolium pratense. Wir kultivieren die Pflanzen in kleinen Blumentöpfen aus Samen. Auf die Kotyledonen folgt ein einfaches Blatt, dann dreizählige Blätter, deren Blättchen sich abends nach oben zu-

sammenlegen. Die Beobachtungen lassen sich natürlich auch im Winter ausführen.

c) Amicia cygomeris. Die Pflanze wird aus Stecklingen im Gewächshaus kultiviert. In diffusem Licht sind die Blättchen ausgebreitet; abends gehen sie in Schlafstellung über (vergl. Fig. 159). Wenn man Amiciapflanzen am Tage verdunkelt, so senken sich ihre Blättchen alsbald, bei 22° C z. B. in $^3/_4$ Stunde. Beleuchtung bedingt Wiederausbreitung der Blättchen.

d) Phaseolus multiflorus. Die Versuche werden im Sommer und im Winter mit Pflanzen ausgeführt, die man in Blumentöpfen aus Samen kultiviert hat. Winkelmessungen, die man an den dreizähligen Blättern vornimmt, ergeben, daß der Winkel, den der Hauptblattstiel mit dem Stengel bildet, nachts ein erheblich spitzerer als am Tage ist. Die Blättchen sind im hellen, diffusen Licht nahezu horizontal ausgebreitet; abends legen sie sich nach unten zusammen (vergl. Fig. 160 und Fig. 161)

Fig. 160. Fig. 161.

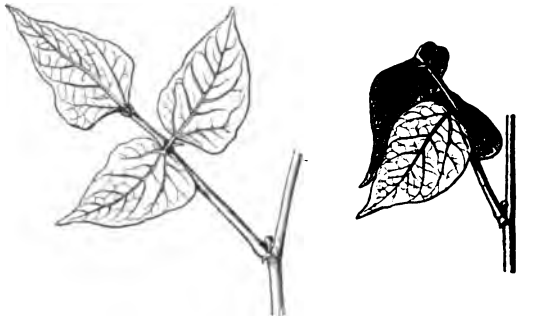


Fig. 160. Blatt von Phaseolus multiflorus in Tagesstellung.
Fig. 161. Blatt von Phaseolus multiflorus in Nachtstellung.

Werden kräftige Phaseoluspflanzen in konstante Dunkelheit gebracht, so zeigen sie, ebenso wie die Acaciapflanzen, mehrere Tage lang, freilich mit abnehmender Amplitude, Nachwirkungsbewegungen. Die endlich dunkelstarr gewordenen Blätter sind horizontal ausgebreitet. Erneute Beleuchtung versetzt namentlich die jüngeren Blätter alsbald wieder in den phototonischen Zustand.

Bohnenpflanzen, die im hellen, diffusen Licht verweilt haben, werden direktem Sonnenlicht im Freien ausgesetzt. In $^1/_2$—1 Stunde haben sich die Primordialblätter und auch die Blättchen der dreizähligen Blätter fast vertikal gestellt. Im diffusen Licht kehrt die Horizontalstellung der Organe zurück.

e) Gelenke der Bohnenblätter. Es werden Querschnitte aus dem großen Gelenk des Hauptblattstieles von Phaseolus hergestellt. Epidermis mit Haaren; mächtig entwickeltes Parenchym, das auf der Gelenkober- und -unterseite nahezu die gleiche Beschaffenheit besitzt. Gefäßbündel ziemlich in der Mitte des Querschnittes, das Mark umgebend. Bei Untersuchung eines Querschnittes aus der Mitte des Hauptblattstieles fällt sofort auf, daß das Rindengewebe, im Gelenk so bedeutend ausgebildet, hier nur relativ schwach entwickelt ist. Die Gefäßbündel im Blattstiel liegen peripherisch.

f) Operierte Bohnengelenke. Von einer in einem Blumentopf kultivierten, kräftigen Bohnenpflanze entfernt man gegen Abend mit Hülfe eines sehr scharfen Messers die obere Gelenkhälfte am Endblatt eines der dreizähligen Blätter. Tritt nach mehreren Stunden die Dunkelheit ein, so senken sich die Seitenblättchen wie gewöhnlich, das operierte Blatt hebt sich aber und ist in der Nacht gerade aufge-

richtet. Am nächsten Morgen ist das Endblatt wieder gesenkt. Freilich wächst bei intakten Blättern infolge einer Verdunkelung der Turgor der Zellen der Gelenkoberseite, während der Turgor der Zellen der Gelenkunterseite sinkt. Wenn im vorliegenden Experiment eine Steigerung des Turgors in der Gelenkunterseite erfolgt, so ist diese wohl nur durch die Verletzung bedingt, welche das Blatt erfahren hat. Verwundungen können ja, wie bekannt ist, als Reizursache wirken (Jost).

g) Mimosa pudica. Diese Pflanze wird aus Samen kultiviert. Die Blumentöpfe stehen im Gewächshaus oder im Zimmer, im letzteren Falle unter einer nicht luftdicht schließenden Glasglocke. Temperatur 20—25°. Die nach 8—14 Tagen über die Erdoberfläche hervortretenden Keimlinge besitzen Kotyledonen, welche am Tage horizontal ausgebreitet, nachts aber senkrecht aufgerichtet sind. Die Keimlinge verpflanzt man alsbald, so daß sie einzeln in Töpfen stehen und in möglichst warmer, feuchter Luft weiter kultiviert werden können. Mimosa pudica eignet sich auch zu Versuchen im Winter. Im Laboratorium müssen die Pflanzen stets unter großen Glasglocken Platz finden, wenn Experimente mit ihnen ausgeführt werden sollen.

Bei kräftigen Pflanzen ist der Hauptblattstiel bei Tage mehr oder minder nach aufwärts gerichtet, die Sekundärstiele sind ausgebreitet, und die Fiederblättchen sind nahezu horizontal gestellt.

Eine Mimosa ist im Gewächshaus diffusem Licht ausgesetzt. Die Pflanze wird vormittags durch Ueberdecken mit einem Zinkblechrezipienten verdunkelt. Der Hauptblattstiel hebt sich nicht unwesentlich, wie Winkelmessungen ergeben, während sich die Blättchen nach oben und vorn zusammenlegen. Die Reaktionen sind in $^1/_2$—$^3/_4$ Stunde vollzogen.

Werden Mimosapflanzen unter Glasglocken dem Wechsel von Tag und Nacht ausgesetzt, dann zeigt sich, daß sich die Blättchen gegen Abend zusammenlegen und daß sich die Hauptblattstiele mit eintretender Dunkelheit senken. Plötzliche Verdunkelung am Tage einerseits und normale abendliche Verdunkelung andererseits wirken also gleichsinnig auf die Blättchen, ungleichsinnig aber auf die Hauptblattstiele der Mimosa pudica ein.

Unter normalen Verhältnissen kultivierte Mimosapflanzen werden in hinreichend feuchter Atmosphäre konstanter Finsternis ausgesetzt. Ebenso wie bei Acacia und Phaseolus treten auch hier periodische Nachwirkungsbewegungen ein. Die Blättchen sind am Tage ausgebreitet, nachts zusammengelegt. Allmählich hören die Bewegungen auf, und es ist auch die Fähigkeit der Blätter verschwunden, auf Erschütterung und Berührung zu reagieren. Die Dunkelstarre tritt bei den Blättern verschiedenen Alters nicht gleichzeitig ein. Die Hauptblattstiele dunkelstarrer Pflanzen haben eine nahezu horizontale Stellung; die Blättchen sind ausgebreitet. Wird eine dunkelstarre Pflanze nur kurze Zeit lang beleuchtet, so reagiert sie noch nicht auf Beleuchtungswechsel oder auf Erschütterung und Berührung. Der phototonische Zustand kehrt erst nach längerer Lichtwirkung zurück; zunächst reagiert die Pflanze wieder auf Beleuchtungswechsel, später auch auf Stoßreiz. Bei 20° C werden die Blätter kräftiger Mimosen, abgesehen von den jüngsten, in etwa 5 Tagen dunkelstarr. Ungefähr 4-stündige Beleuchtung ruft den phototonischen Zustand noch nicht wieder hervor; derselbe kehrt erst nach 1—2-tägiger Beleuchtung wieder vollkommen zurück. Bei diesen Versuchen sterben übrigens viele Blätter der Mimosa ab.

h) Mimosa Spegazzini Pizotta. Diese aus Argentinien stammende Pflanze hat strauchartigen Wuchs und kann in Blumentöpfen

im Warmhause kultiviert werden. Das Untersuchungsobjekt steht auch im Winter zur Verfügung und ist daher besonders wertvoll.

259. Bewegungen durch Stoßreiz.

a) Mimosa pudica. Die Pflanze ist nur deutlich reizbar, wenn Boden und Luft hinreichend warm (über 20° C) sind. Werden unter solchen Umständen Mimosaexemplare, ohne daß man die Pflanzen selbst berührt, erschüttert, so macht sich eine auffallende Reizwirkung geltend. Die Hauptblattstiele senken sich, die Sekundärstiele nähern sich einander, und die Blättchen legen sich nach vorn und oben zusammen (vergl. Fig. 162). Diese Bewegungen werden sämtlich durch Gelenke vermittelt, welche an der Basis der Blattstiele sowie der Einzelblättchen sitzen und einen ähnlichen Bau wie die Gelenke der Phaseolusblätter haben.

Mimosa kann auch durch Berührung zu Reizbewegung veranlaßt werden. Wird die Oberseite des großen Gelenkes an der Basis des primären Blattstieles vorsichtig mit einem Holzstäbchen berührt, so erfolgt freilich keine Bewegung; dieselbe tritt aber sofort ein, wenn man die Gelenkunterseite in der nämlichen Weise reizt. Die Elemente des Parenchyms der Unterseite verlieren infolge solcher Reize Wasser, welches in die Intercellularen des Blattes übertritt. Es macht sich eine Störung des hydrostatischen Gleichgewichtes geltend. Die Zellen der Gelenkunterseite kontrahieren sich infolge des Wasserverlustes, und infolge der Mitwirkung des stark positiv gespannten Parenchyms der Gelenkoberseite kommt eine energische, nach abwärts gerichtete Bewegung des primären Blattstieles zu stande. Den Wasserverlust des Gelenkes infolge einer Reizung und die Existenz von Spannungsverhältnissen im Gelenk kann man in folgender Weise demonstrieren.

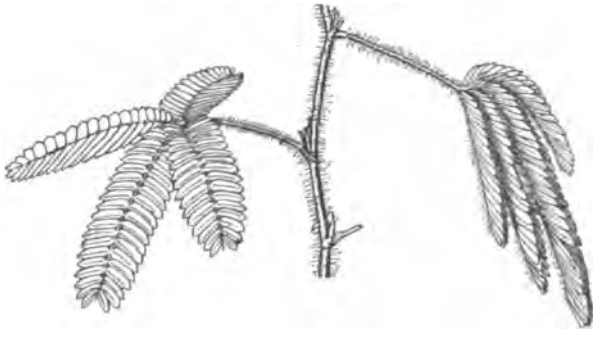


Fig. 162. Teil eines Sprosses von Mimosa pudica. Das Blatt links ist im ungereizten Zustande, das Blatt rechts im gereizten Zustande dargestellt.

Der primäre Blattstiel wird durch einen scharfen Schnitt vom Gelenk abgetrennt, und die Mimosa jetzt einige Zeit unter einer Glasglocke im dampfgesättigten Raum belassen. Wird das Gelenk, nachdem es sich einigermaßen erholt hat, gereizt, so senkt es sich, und es tritt Wasser aus der Schnittfläche hervor. In der unversehrten Pflanze wird das Wasser aus dem Gelenk zumal in den Stengel oder Blattstiel befördert. Schneidet man eines der großen Gelenke, ohne dasselbe von seinem Blattstiel zu befreien, hart an der Sproßachse weg, so krümmt es sich natürlich infolge des Reizes in bekannter Weise. Trennt man nun durch zwei Längsschnitte das obere und untere Parenchym des Gelenkes vom Fibrovasalkörper ab, so krümmt sich jenes stark abwärts, dieses schwach aufwärts. Wird das so präparierte, sich noch mit dem Blattstiel im Zusammenhang befindende Bewegungsorgan in Wasser gelegt, dann erfährt die Krümmung des oberen Parenchyms, insbesondere aber die nach

aufwärts gerichtete Krümmung des unteren, indem die Zellen desselben wieder turgeszent werden, eine wesentliche Steigerung. Die isolierten Parenchymlamellen übertreffen auch den Fibrovasalkörper des Gelenkes an Länge, und alles beweist, daß in unverletzten Bewegungsorganen beträchtliche Spannungen zwischen dem axilen Strang einerseits und dem Parenchym andererseits bestehen müssen. (Pfeffer.)

Sehr lehrreich ist der folgende einfache Versuch. Man schneidet mit einer Schere eines der kleinen Blättchen am Ende eines sekundären Blattstieles recht reizbarer Mimosapflanzen vorsichtig, und ohne das Untersuchungsobjekt zu erschüttern, ab, oder man reizt ein Mimosablättchen, indem man die mit Hülfe einer Sammellinse in einem Brennpunkt vereinigten Sonnenstrahlen auf dasselbe fallen läßt. Es macht sich nun eine durch Wasserbewegung in der Pflanze bedingte Reizfortpflanzung geltend. Von der Spitze nach der Basis des sekundären Blattstieles vorrückend, bedingt die Reizfortpflanzung ein Zusammenlegen immer entfernter stehender Blattpaare, darauf legen sich auch die Blättchen benachbarter sekundärer Blattstiele (zunächst die unteren, weiterhin die höher stehenden) zusammen, ja es kann sogar eine Senkung des Hauptblattstieles und eine Uebertragung des Reizes auf ganz andere Blätter des Untersuchungsobjektes erfolgen. Hat die Fortleitung des Reizes aufgehört, und werden keine weiteren Bewegungen ausgelöst, so kehren die Blätter nach einigen Minuten wieder in ihre Ruhelage zurück.

b) Anderweitige Blattorgane. Werden die Blätter von Mimosa Spegazzini (vergl. unter 258h) gereizt, so senken sich die Hauptblattstiele und die Blättchen legen sich zusammen.

Die Einzelblättchen von Oxalis acetosella senken sich, wenn der Hauptblattstiel gereizt wird. Die Reaktion erfolgt aber nur deutlich, wenn viele und stärkere Stöße auf den Blattstiel ausgeübt werden.

c) Blütenteile. Wird die Innenseite der Narbenlappen von Martynia (Gesneraceae) oder von Mimulus cardinalis mit Holzstäbchen berührt, so legen sich dieselben sofort zusammen. Die fünf Filamente der Cynareen sind mit ihrem unteren Ende an der Blumenkronenröhre befestigt. Die Antheren sind zu einer Röhre verklebt, durch welche der Griffel hindurchwächst. Zur Zeit der Pollenreife sind die Filamente reizbar, und während sie im ungereizten Zustande konvex nach außen gebogen erscheinen, strecken sie sich infolge einer Erschütterung oder Berührung unter Verkürzung gerade. Gelenke fehlen den Filamenten; ihr gesamtes, das axile Gefäßbündel umgebende Parenchym ist vielmehr reizbar und verliert, wenn eine Reizursache auf dasselbe einwirkt, infolge von Wasserabgabe bedeutend an Expansionskraft, wodurch die Kontraktion hervorgerufen wird. Will man sich von der Reizbarkeit der Cynareenfilamente überzeugen, so verwendet man zweckmäßig Blüten von Centaurea jacea zu den bezüglichen Experimenten. Man isoliert einzelne Blüten aus dem Blütenköpfchen, schneidet die Korolle, Filamente und den Griffel etwas über der Insertion der Staubgefäße quer durch und befestigt den befreiten Sexualapparat mit Hülfe einer Nadel auf einem Kork. Derselbe wird unter eine Glasglocke in wasserdampfreiche Luft gebracht. Haben sich die Präparate erholt, so sind sie reizempfänglich. Die freien Filamente bewegen sich infolge von Berührungen und erlangen nach ausgeführten Bewegungen ihre Reizbarkeit unter günstigen äußeren Verhältnissen in einigen Minuten wieder. Die Bewegung der freien Filamente kommt dadurch zu stande, daß ihre berührte Seite unter Verkürzung stets zunächst konkav wird. (Nach Vorschrift von Sachs.)

260. Spontane Variationsbewegungen.

a) Trifolium pratense. Ein Blumentopf, in welchem man einige Pflanzen von Trifolium pratense kultiviert hat, wird einen Tag lang ins Dunkle gestellt. Auch für die eigentlichen Beobachtungen verweilen die Pflanzen im Finstern im feuchten Raum. Etwa alle halbe Stunde bestimmt man die Lage der Blättchen verschiedener dreizähliger Blätter, und zwar ist es am zweckmäßigsten, die jeweilige Stellung derselben durch Aufzeichnen zu fixieren. Die Kleeblättchen führen infolge von Turgorschwankungen in den antagonistischen Gelenkteilen auf- und abgehende Bewegungen aus, deren Amplitude oft weniger, oft mehr als 90° beträgt. Zur Vollendung einer vollen Schwingung sind bei 18° C einige Stunden erforderlich.

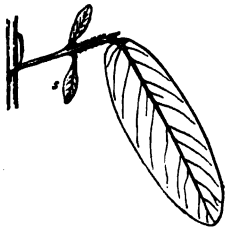


Fig. 163. Blatt von Desmodium gyrans, verkleinert. (Nach PFEFFER.)

b) Desmodium gyrans. Topfexemplare dieser Pflanze werden im Gewächshaus beobachtet. Oder man stellt den Topf in ein Gefäß, welches Wasser von 35° enthält, so daß der untere Teil des Stengels der Pflanze noch von der Flüssigkeit umgeben wird, und bedeckt mit einer Glasglocke. Die Seitenblättchen von Desmodium beschreiben elliptische Bahnen, deren lange Achse nahezu parallel zum Hauptblattstiel ist (vergl. Fig. 163). Das Temperaturminimum für diese raschen Bewegungen liegt bei etwa 22° C. Ein Umlauf wird bei hoher Temperatur in wenigen Minuten vollendet. Die aufsteigende Bahn wird etwas langsamer als die absteigende durchlaufen.

261. Starrezustände.

a) Dunkelstarre. Auf diese ist bereits auf S. 282 hingewiesen worden.

b) Trockenstarre. Die Erde eines Blumentopfes, in welcher sich ein Exemplar von Mimosa pudica entwickelt, wird längere Zeit nicht begossen. Nach 4 Tagen (20° C) reagieren die Blättchen nicht mehr auf Berührung. Die trockenstarren Blättchen sind ausgebreitet und gewinnen ihre Empfindlichkeit wieder, wenn man der Pflanze reichliche Wassermengen zugeführt.

c) Kältestarre. Eine Mimose wird unter Glasglocke im Freien einer Temperatur von 12° ausgesetzt. Nach einer Stunde sind die Blätter kältestarr geworden. Sie erscheinen ausgebreitet und reagieren nicht mehr auf Berührungsreiz. Bei höherer Temperatur (über 15°) kehrt die Reizbarkeit wieder.

d) Wärmestarre. Zum Versuch dient eine junge Pflanze von Mimosa pudica. Sie findet auf einem umgekehrten Blumentopf im Apparat Platz, der mit einer tubulierten Glasglocke bedeckt wird (Apparat vergl. Fig. 12). Wir experimentieren bei Lichtzutritt. Ein Thermometer gibt die Temperatur der Luft in der Nähe der Pflanze an. Wir erwärmen so lange, bis das Thermometer 46—47° C zeigt, und erhalten die Lufttemperatur 20 Minuten lang auf dieser Höhe. Pflanze noch wenig reizbar; Blättchen zusammengelegt; Hauptblattstiel stark aufgerichtet. Jetzt Erwärmen bis 49° C. Diese Temperatur 15 Minuten lang konstant. Die Pflanze ist jetzt wärmestarr; bei normaler Temperatur gewinnt sie ihre Reizbarkeit wieder.

e) Ueberreizung. Wir experimentieren mit einer kräftigen Mimose, die sehr günstigen Lebensbedingungen ausgesetzt ist. 5 oder 6 Minuten lang erteilen wir in Intervallen von je $^1/_2$ Minute der Unterseite des Gelenkes am Hauptblattstiel mittelst eines Holzstäbchens mehrere Stöße. Wird die Pflanze unter einer Glasglocke sich selbst überlassen, so erhebt sich der gesenkte Hauptblattstiel in einigen Minuten, aber trotzdem reagiert das Gelenk jetzt nicht auf Berührungsreiz. Das durch oft wiederholte Berührung für neuen Reiz unempfindlich gewordene Bewegungsorgan erlangt den reizbaren Zustand übrigens nach Verlauf kurzer Zeit wieder.

f) Narkose. Ein abgeschnittenes Blatt von Mimosa pudica wird mit seinem Stiel in ein kleines, Wasser enthaltendes Glas gestellt. Dieses Glas steht auf einem Teller, in den man Aether oder Chloroform gegossen hat. Nach Ueberdecken des Tellers mit einer Glasglocke wird das Untersuchungsobjekt dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt. Während der einige Minuten lang dauernden Narkose breiten sich die Blättchen vollkommen aus; sie reagieren jetzt aber nicht auf Berührungsreiz. Der reizbare Zustand kehrt indessen zurück, wenn man das Mimosablatt in eine äther- und chloroformfreie, aber wasserdampfreiche Atmosphäre bringt.

Register.

von Pflanzensäften 162.
ure 162.
ie 223.
ismus 253.
che Oele 165.
irkung auf Pflanzen 206, 288.
lationsvorgänge 175.
1 124.
körner 59.
le 166.
tinktur 152.
bildung in Pflanzen 141.
, Nachweis dess. 141.
iak als Pflanzennahrungsmittel 35,

l 56.
en 142.
au 175.
schwefelsaures 55.
pie der Pflanzenteile 272.
an 164, 165.
nthin 165.
eistung bei der Quellung 72.
eotropischen Nutationen 228, 234.
nalyse 42.
estandteile, spektroskopischer
veis ders. 43.
in 126.
ialten dess. in der Pflanze 126.
e des Plasmas 219.
r 131.
tion 8.
ängigkeit ders. von äußeren Be-
ngen 23, 27.
tionsenergie 32.
tion und Spaltöffnungen 30.
närische Luft, Zusammensetzung
25.
der Pflanzen 127.
Beeinflussung durch äußere Um-
137, 139.
tramolekulare 132, 133.
ormale 130, 133.
Wasserpflanzen 138.
Wurzeln 138.
senergie, spezifische 137.
nen der Pflanzen 62.
pismus 247.

Radicicola 36.
m Termo 50.
nkultur 50.
nmethode 23.

Barytwasser 135.
Berberin 167.
Bewegungen der Chlorophyllkörper 221.
— der Plasmodien 223.
— der Schwärmsporen 221.
— des Protoplasmas 218.
— infolge der Wasseraufnahme 94.
Biegsamkeit von Pflanzenteilen 178.
Biuretreaktion 125.
Blatt, Bau dess. 10.
Blätter, Wasseraufnahme ders. 94.
Bleiessig 147.
Blutungsdruck der Wurzeln 103.
— von Stammgebilden 108.
Bodenorganismen 49.
Buttersäuregärung 142.

Calciumoxalat 39.
Cellulosemembran 54.
Chemotaxie 224.
Chemotropismus 254.
Chloralhydrat 26.
Chlor, Nachweis dess. 42.
Chloroformwirkung 24, 194, 225. 288.
— auf das Wachstum 194, 199.
Chlorophyllfarbstoff 14.
—, Absorptionsspektrum dess. 15.
—, Entstehung dess. 17.
—, Fluoreszenz dess. 17.
—, Zersetzung dess. 21.
Chlorophyllkörper 12, 17.
—, Bewegungen ders. 221.
Chlorophyllspektrum 16, 17, 18.
Chlorzinkjod 54.
Chromsäureelement 63.
Circumnutation 197.
Citronensäure 162.
Cohnsche Normallösung 50.
Colchicin 167.
Conglutin 124.
Cuticula 54.
Cyanophyll 14.
Cytoplasma 57.

Dehnbarkeit von Pflanzenteilen 178.
Dekapitierungsversuche an Wurzeln etc. 227, 243.
Dextrine 148.
Diageotropismus 237.
Dialysator 75.
Diaphanoskop 11.
Diastase, Entstehung ders. 150.
— in Kartoffelknollen 205.

Diastase, Vorkommen ders. 149.
—, Wirkungsweise ders. 149.
Diastasewirkung, Beeinflussung ders. 149.
Dickenwachstum 186.
Diffusion 73.
— der Gase 82.
Diosmose der Gase 82.
Diosmotische Eigenschaften der Zellhaut 74.
— des Plasmas 74.
Diphenylamin 38.
Dorsiventralität 268.
Droserakultur 51.
Druckwirkung auf Pflanzenteile 182.
Dunkelzimmer 17.
Durchleuchtung der Gewebe 11.

Eigenwinkel der Wurzeln 248.
Eisbildung beim Gefrieren 65.
Eisen als Pflanzennährstoff 44.
—, Nachweis dess. 43.
Eiweißbildung 40.
Eiweißstoffe, Entstehung ders. 37.
—, Reaktionen ders. 124.
Elastizität von Pflanzenteilen 178.
Elektrizität, Wirkung ders. auf Pflanzen 62.
Elodeakultur. 13.
Endosmometer 74.
Endosmose 73.
Eosinlösung 90, 117.
Epinastie 273, 275.
Erschütterungskrümmungen 178.
Etiolement, Ursachen dess. 211.
— und Assimilation 211.
Etiolin 15.
Etiolinkörner 17.
Etiolierungserscheinungen 29.
Exotropismus der Wurzeln 197.

Farbstoffe 164.
— des Holzes 165.
FEHLINGsche Lösung 147.
Fettbäume 171.
Fettbestimmung 152.
Fette der Pflanzen 151.
—, Reaktion ders. 152.
—, Verhalten ders. bei der Keimung 153.
Fettgehalt des Holzes 152, 171.
Filtrieren, Erleichterung dess. 157.
Flechten 51.
Frangulin 167.

Gärung 141.
—, alkoholische 132, 141.
Gartenerde 17.
Gasbewegung in der Pflanze 80.
Gasblasenzählung 22.
Gasdruck, negativer 89.
— positiver 89.
Gase, Verhalten der unter Druck stehenden 83.
Gaskammer 219.
Gefrieren der Pflanzen 65.
Gelenke der Blätter 283.
Gelose 55.
Geotaxie 223.
Geotropische Nachwirkungen 233, 235.
Geotropischer Grenzwinkel der Wurzeln 237.
Geotropismus, Arbeitsleistung durch dens. 228, 234.
—, Beeinflussung dess. durch äußere Umstände 227.
— der Grasknoten 235.
—, negativer 231.
—, positiver 226.
— und Wachstum 229, 231.
Gerbstoff, primärer 164.
—, sekundärer 164.
Gerbstoffe, Nachweis ders. 164.
Gewebespannung 178.
Giftwirkung auf Pflanzen 68.
Glasglocken, doppeltwandige 19.
Glycerin 151.
Glykose im Holz 171.
—, Nachweis ders. 147.
Glykoside 167.
Grenzwinkel, geotropischer 237.
Gummiarten 166.

Haftballen der Ranken 267.
Harze 165.
Hefe, Ernährung ders. 35, 45, 50.
Heliotropische Kammer 239.
Heliotropismus, negativer 240.
—, positiver 240.
— und Wachstum 242.
Hilarer Apparat 95.
Holz als wasserleitendes Gewebe 116.
—, Verhalten dess. gegen Gase 83.
Holzreaktion 55.
Hydathoden 109.
Hydrotaxie 223.
Hydrotropismus 252.

Imbibition 71.
Indican 167.
Indigokarmin 23.
Indigomethode 23.
Induktionsapparat 63.
Insectivoren 51.
Intercellularen 84.
Inulin 148.
Isotonische Coëffizienten 77.

Jahresperiode der Pflanzen 205.
Jodglycerin 146.
Jodjodkalium 25.
Jodoformreaktion 142.
Jodprobe 25.

Kältemischung 64.
Kakaowachs 31.
Kalilauge 30, 140.
Kalium als Pflanzennährstoff 44.
—, Nachweis dess. 43.
—, Unentbehrlichkeit dess. 44.
Kaliumbichromat 19.
Kalk, Nachweis dess. 43.
Kambium 186.
Kammer, feuchte 199, 219.
Keimpflanzen, Kultur ders. 5, 190.
Keimung der Kartoffelknollen 205, 209.
— der Lupine 126.
— von Cucurbita 158.
— von Phaseolus 154.
— von Pollenkörnern 199.

ıng von Ricinus 153.
ı Triticum 155, 157.
ı Zea 158.
säure, Nachweis ders. 43.
cher Apparat 134.
aterial 88.
rproteinstoffe 124.
nversuche 117.
stat 244.
chen der Papilionaceen 34, 36.
tchlorür 113.
tpapier 113.
tprobe 113, 114.
hydrate, Verhalten ders. bei der mung 153, 154.
nsäure, Bedeutung ders. für die imilation 29.
arstellung ders. 22.
r Luft 24.
ethode zur Bestimmung ders. 133.
nsäureproduktion bei der Atmung , 132.
i der Gärung 133.
lutin 124.
ıktreiz 266.
aktion der Wurzeln 182.
ewebe 54.
lationserscheinungen 271.
sionserscheinungen 93.
roxydammoniak 19.

sspannung 178.
heide 170, 173.
ellen 85.
min 167.
lage der Blätter 276.
stimmung der Schwärmer 222.
ım, Nachweis dess. 43.

se 146.
en, Auftragen ders. auf Pflanzenteile , 193.
anische Eingriffe, Wirkung ders. auf anzen 62.
anisches Gewebe der Pflanzen 277.
ikroskop, horizontales 198.
ylgrünessigsäure 58.
meter 87.
spektralapparat 15.
saft 175.
ONsches Reagens 125.
sakultur 284, 285.
alstoffaufnahme seitens der Pflanze

alstoffbedürfnis der Pflanzen 44.
r Pilze 45.
ularstruktur, Zerstörung ders. 62.
r, geotropisches Verhalten dess. 234.
rkultur 49.
rrhiza 47.

wirkungserscheinungen 107, 256, 283, .
lösung, Aufnahme ders. seitens der anze 93.
r Bakterien 35.
r Penicillium 36, 48.

Nährstofflösung für Hefe 35.
— für höhere Pflanzen 5.
— nach COHN 50.
— nach KNOP 5.
— nach PASTEUR 35.
Narkose der Mimosa 288.
Natrium, entbehrlicher Pflanzennährstoff 44.
—, Nachweis dess. 43.
Nebenprodukte 160.
— als Schutzmittel der Pflanzen 167.
Nebenwurzeln, endogene Entstehung ders. 187.
Nektarien 110.
Nervatur der Blätter 9.
Niederschlagsmembranen 76.
Nitrate, Nachweis ders. 38.
—, Verarbeitung ders. 40.
Nitratzersetzung 38.
Nitrobakterien 37.
Nuclein 125.
Nutationen, spontane 195.
Nyktitropische Bewegungen 254, 282.

Oberflächenspannungen 220.
Okular-Mikrometer 212.
Organische Körper als Pflanzennahrungsmittel 45.
Organische Säuren 162.
Orthotrope Organe 272.
Osmotischer Druck 74.
Oxalate in der Pflanze 39.
Oxalat, primäres und sekundäres 40.
Oxalsäure 162.
Oxalsäurelösung zum Titrieren 136.
Oxydasen 148.

Palisadenzellen 10.
Papilionaceen als Stickstoffsammler 36.
Paramaecium 220.
PASTEURsche Nährlösung 35.
Penicilliumkultur, 36, 48.
Pepsin 125.
Pepton 125.
Perzeptionsvermögen 242.
Pflanzensäuren, Verhalten ders. 163.
Pflanzenstoffe 14, 21, 38, 39, 42, 54 etc., 111, 124 etc., 126, 130, 146 etc., 162., 163 etc.
Phenolphtaleinlösung 136.
Phloroglucinreaktion 55.
Phosphoreszenz der Pflanzen 144.
Phosphorsäure als Pflanzennährstoff 44.
—, Nachweis ders. 43.
Photoepinastie 275.
Phototaxie 222, 224.
Plagiotrope Organe 272.
Plasmodien, Bewegung ders. 223.
Plasmolyse 76, 78.
—, Wirkung ders. 182.
Plasmolytische Saugung 110.
Polarisationsapparat 57.
Polarität 268.
Pollenkörner, Keimung ders. 199.
Poroskop 83.
Prinzip der kleinsten Oberfläche 185.
Protoplasma 57.

Protoplasma, diosmotische Eigenschaften dess. 74.
—, Rotation dess. 218.
—, Starrezustände dess. 219.
—, Zirkulation dess. 218.
Protoplasmabewegungen, Ursachen ders. 220.
Protoplasmaverbindungen 58.

Quecksilber, Reinigung dess. 141.
Quellung 71.
— der Samen 95.
Quellungskapazität 95.
Querspannung 179.

Ranken, spontane Nutationen ders. 266.
Rankenbewegungen 264.
Raphiden 39.
Rektipetalität 247.
Reifen von Früchten u. Samen 159.
Reinkulturen niederer Organismen 49, 50.
Reizbarkeit 242.
Reizleitung 242, 286.
Reizschwelle 241.
Reservecellulose 56.
Reservestoffbehälter 146.
Rheotaxie 223.
Rheotropismus 252.
Ringelungsversuche 116, 172.
Rohasche 42.
Rohrzucker 148.
Ruheperiode der Pflanzen 205.
Rutheniumrot 55.

Saccharomyceskultur 35, 50.
Sägespäne 5.
Säuren, organische 162.
Salicin 167.
Salpetersäure als Pflanzennahrungsmittel 35, 37.
Salpetersäure, Nachweis ders. 38.
Samenschalen 95.
Sandkulturen 36.
Sauerstoff, Darstellung dess. 203.
Sauerstoffaufnahme bei der Atmung 130, 131, 140.
Sauerstoffbedürfnis der Pflanzen 202.
Sauerstoffnachweis in der Luft 25.
Sauerstoffproduktion 21.
Schleime 166.
Schlingpflanzen, negativer Geotropismus ders. 263, 264.
—, rotierende Bewegung ders. 261.
—, Vorkrümmung ders. 263.
Schnecken, Schutzmittel der Pflanzen gegen dies. 167.
Schutzmittel der Pflanzen gegen Tiere 167.
Schwärmsporenbewegung 221.
Schwefelsäure, Nachweis ders. 43.
Scutellum 156.
Siebröhren 174.
Silicium, entbehrlicher Pflanzennährstoff 44.
Sinnesorgane der Pflanzen 242.
Spaltöffnungen und Assimilation 30.
— und Transpiration 114.
Spaltöffnungsapparate 87.
—, Bewegungen ders. 87.
Spektralapparate 15.
Spirogyrakultur 12.
Stärke als Assimilationsprodukt 26.
— als Reservestoff 146.
—, Auflösung ders. in Blättern 150.
— in Holz 146, 171.
—, quantitative Bestimmung ders. 147.
—, Verhalten zum Jod 57.
Stärkeauflösung 170.
Stärkebäume 171.
Stärkebestimmung 147.
Stärkebildner 58.
Stärkebildung aus Zucker 27.
Stärkekörner 56.
—, Korrosion ders. 150.
—, Verhalten ders. im polarisierten Licht 57.
Stärkenachweis 25.
Stärkescheide 173.
Starrezustände der Blätter 287.
Stereiden, physikalische Eigenschaften ders. 279.
Sterilisieren 50.
— von Flüssigkeiten 50.
Stickstoff als Pflanzennährstoff 37.
Stoffbedürfnis beim Wachstum 201.
Stoffwanderung 168.
Stoffwechsel 122.
— bei der Keimung 153.
Stoßreiz 266, 285.
Strychnin 166.

Temperatur, Einwirkung höherer auf die Pflanzen 66.
—, Einwirkung niederer auf die Pflanzen 64.
Temperatureinfluß auf das Wachstum 203.
Temperaturzustand der Gewächse 79.
Thermometer 105.
Thermoregulator 105.
Thermostat 20, 105.
Thigmotropismus 253.
Titrieren 136, 162.
Torsionen 195.
— an Schlingpflanzen 262.
Translokation plastischer Stoffe 168.
Transpiration, Abhängigkeit ders. von äußeren Bedingungen 114, 116.
— der Gase 83.
—, saugende Wirkung ders. 118.
Transpirationsgröße, Bestimmung ders. 110.
Transpirationswage 111.
Traubes künstliche Zelle 76.
Traumatropismus 252.
Trockensubstanzbestimmung 157.
Tropismen, Ausschließung ders. 246, 247.
Turgor 76.
Turgorausdehnung und Wachstum 181.
Turgorkraft 78.

Vanillin 124.
Variationsbewegungen 281.
—, spontane 287.
Vegetationspunkte 185.

Vegetationszonen 187.
—, terminale, basale und interkalare 187.
Vorkrümmung bei Schlingpflanzen 263.

Wachstum, Beeinflussung dess. durch äußere Umstände 200.
—, Einfluß farbigen Lichtes auf dass. 213.
— im Freien 213.
— und Turgorausdehnung 181.
—, Verzögerung dess. durch Lichtwirkung 213.
Wachstumsenergie 195.
Wachstumsgeschwindigkeit 194.
Wachstumsperiode, große 192.
Wärmebildung seitens der Pflanze 142.
Wärmeentwickelung bei der Quellung 72.
Wasser, Beweglichkeit dess. im Holz 118.
Wasseraufnahme der Moose 97.
— seitens der Pflanze 91.
Wasserbewegung, Geschwindigkeit ders. 120.
Wasserkultur 4.
Wassergehalt und Wachstum 202.
Wasserleitung im Holz 116.
Wasserspalten 109.
Wasserstoff, Darstellung dess. 20, 220.
Welken der Pflanzen 121.
Winden der Ranken 264.
— der Schlingpflanzen 260.
Windungen der Schlingpflanzen, freie 261, 262.
Winterversuche 8, 10, 12, 13, 22, 23, 26, 27, 28, 58, 78, 90, 94, 104, 109, 111, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 146, 178, 179, 180, 211, 256, 260, 266, 282, 283, 284, 285.
Wurzeldruck 103.
—, Beeinflussung durch äußere Umstände 106.
—, Periodizität dess. 107.
—, Ursachen dess. 108.
Wurzelhaare 92.
Wurzelknöllchen der Papilionaceen 34, 36.

Xanthophyll 14.

Zeiger am Bogen 197.
Zelle, künstliche, nach TRAUBE 76.
Zellhaut 54.
Zellkern 58.
Zellsaft 57.
Zentrifugalapparat 249.
Zucker als Assimilationsprodukt 26.
— im Holz 147.
—, Verhalten bei der Gärung 141.
—, Verhalten dess. im Stoffwechsel 155.
Zuckerbestimmung 26, 147.
Zuckergehalt von Kartoffelknollen 159, 205, 209.
Zuckernachweis, mikrochemischer 147.
Zuckerscheide 169, 173.

Frommannsche Buchdruckerei (Hermann Pohle) in Jena. — 2845

Inseraten-Anhang.

Arno Haak, Jena

Glastechnische Werkstätte

fabriziert als **Specialität:**

Normal-Thermometer

aus **Jenaer Normal-** und **Borosilikat-glas 59^{III},**

hochgradige Thermometer

bis + 550°,

sowie alle Arten

Thermometer

für wissenschaftliche Zwecke.

Gefässbarometer

mit konstantem Nullpunkt eigener Konstruktion,

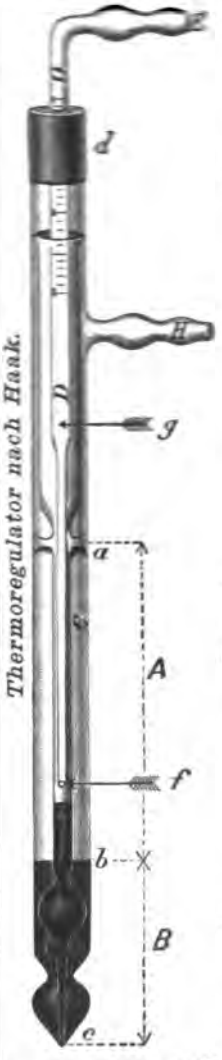
Thermoregulatoren

mit verstellbarer Skala,

sowie

alle im vorliegenden Werke erwähnten

Glasinstrumente.



Thermoregulator nach Haak.

Preisliste in 3 Sprachen zu Diensten.

C. Desaga

Inhaber: **Alfred** und **Friedrich Rodrian.**

Heidelberg

Fabrik chemischer, physikalischer und pflanzenphysiologischer Apparate

liefert

sämtliche in diesem Buche genannten Apparate

und steht

Spezialkatalog auf Wunsch zu Diensten.

Mechanische Werkstätten.

Glasbläserei.

Dr. Hermann Rohrbeck

(vorm. J. F. Luhme & Co.)

BERLIN, Karlstr. 20a.

Thermostaten
anerkannt
besten Systems.

Sterilisatoren

Mikroskopische Utensilien

Spezial-Apparate
für
Bodenanalyse
etc.

Thermo-Regulatoren
vorzüglich funktionierend, nach
Geh. Rat Prof. Dr. **Paul.**

Spezial-Apparate
für
Wasser-untersuchungen, Luft-untersuchungen
etc.

Fabrik bakteriolog.-chem. elektrochemischer Apparate.
Sämtliche Apparate für pflanzenphysiologische Untersuchungen.

Mikroskope

für alle

spezialwissenschaftlichen Zwecke.

Taschenspektroskope

mit Wellenlängenskala.

Vergleichsspektroskope

für die gleichzeitige Beobachtung zweier, bezw. dreier Spektra.

Eintauchrefraktometer

für die Bestimmung der Konzentration wässriger, alkoholischer u. ätherischer Lösungen.

Man verlange Katalog: M 5.

CARL ZEISS

Jena.

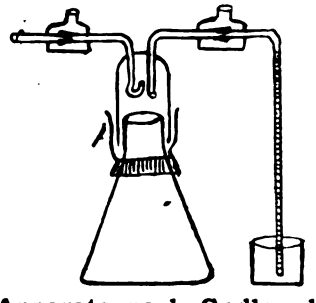
Dr. H. Geissler Nachf. Franz Müller,

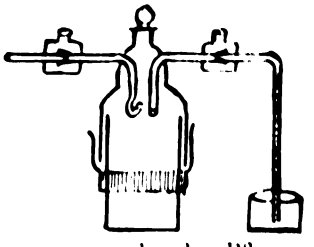
Bonn am Rhein.

Werkstätten für

glastechnische Präzisions-Arbeiten.

Einrichtungen und Ergänzungen chemischer Laboratorien.





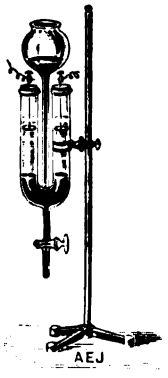
Apparate nach Godlewsky für Atmungsversuche der Pflanzen, mit Quecksilberdichtung.

Katalog auf Wunsch.

Alt, Eberhardt & Jäger,

Ilmenau (Thür.)

Eigene Hohlglashütte, Lampenbläsereien, Glasschleiferei, Holzwarenfabrik, mechanische Werkstatt, Schriftflaschenmalerei, Thermometerfabriken, Klempnerei und Emaillieranstalt.



Glasapparate, -Instrumente u. -Utensilien

in bekannt **bester** Ausführung **für alle Gebiete der Chemie, Elektrochemie, Physik, Wissenschaft und Technik.**

Apparate für botanische Studien
nach Detmers Pflanzenphysiologischem Praktikum.

Chemische u. hochgradige Thermometer, Normal-Aräometer
für alle speziellen Flüssigkeiten in feinster Herstellung.

Geaichte chem. Messgeräte. Glasröhren u. -Stäbe in den verschiedensten Formen. **Einrichtungen von Laboratorien für höhere Lehranstalten, Universitäten, Schulen, Fabrikslaboratorien** des chemischen Grossbetriebes.

Glasgefässe aus Spiegelglas,
widerstandsfähig gegen Wasser, Alkohol und Säuren.

Anfertigung neuer Apparate
nach Skizzen und Angaben.

Eigenes chemisches Laboratorium. ❁ Spezial-Listen auf Wunsch.

W. & H. Seibert

Optisches Institut

WETZLAR.

„Neues Stativ 1".

Mikroskope

I. Qualität für alle Forschungszweige.

Ultra-Mikroskope.

Projektions-Apparate.

Mikrophotographische Apparate.

— Ausführliche illustrierte Preisliste kostenlos. —

Eug. Albrecht,

Universitäts-Mechanikus

in

Tübingen

fertigt

Prof. Pfeffers botanisch physiologische Apparate.

Klinostaten,

Auxanometer,

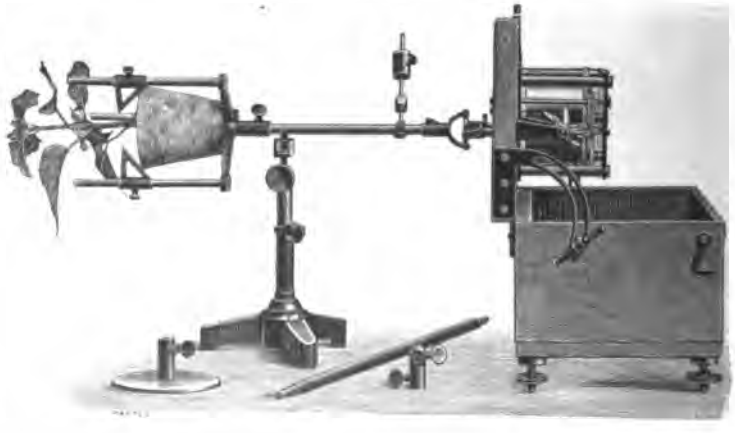
horizontale Messmikroskope

u. s. w.

Preisliste gratis und franko.

Auxanometer nach Prof. Pfeffer.

Grosser Klinostat nach Prof. Pfeffer.



Verlag von Gustav Fischer in Jena.

Lehrbuch der Pharmakognosie des Pflanzenreiches. Für Hochschulen u. zum Selbstunterricht. Mit Rücksicht auf das neue Deutsche Arzneibuch. Von Dr. **George Karsten,** a. o. Prof. der Botanik an der Universität Bonn. Mit 528 Abbildungen im Text. 1903. Preis: 6 Mark, geb. 7 Mark.

Horae Zoologicae. Zur vaterländischen Naturkunde ergänzende sachliche und geschichtliche Bemerkungen von Dr. **Franz Leydig.** 1902. Preis: 6 Mark.

Aus dem Inhalt: **Abschnitt I.** Landschaft — Vegetation. Tauberhöhe, Taubergrund, Mainthal, Saalethal etc. (S. 1—61). **Abschnitt II.** Tiere. Vorkommen, Bau und Leben. Sporozoen, Flagellaten etc. bis Vögel, Säugetiere (S. 62—208). Beilagen: Zur Veränderung des Einzelwesens. Zur Veränderung der Fauna. Rückgang der Tierbevölkerung. Zur Abstammungslehre (S. 209—222). **Abschnitt III.** Geschichtliches. Linné, Rothenburg o. T., Windsheim etc. (S. 223—273). — Verzeichnis der litterarischen Veröffentlichungen des Verfassers.

Allg. Zeitschrift für Entomologie vom 14./15. 1. 8. 1902:

Vorliegendes Werk Leydigs wird von allen Zoologen mit Freude begrüsst werden; finden wir hier doch die unzähligen Beobachtungen und wichtigen Entdeckungen, welche der grosse Histologe in dem Zeitraum von etwa sechs Dezennien gemacht hat, übersichtlich zusammengefasst, was für den produktiven Zoologen eine nicht geringe Erleichterung bezüglich der Literaturstudien bedeutet.

Die Grundlagen und die Methoden für die mikroskopische Untersuchung von Pflanzenpulvern. Eine Einführung in die wissenschaftlichen Methoden der mikroskopischen Untersuchung von Gewürzen, pflanzlichen Arzneimitteln, Nahrungsmitteln, Futtermitteln, Papieren, Geweben u. s. w. Zum Gebrauch in den Laboratorien der Hochschulen und zum Selbstunterrichte. Für Nahrungsmittelchemiker, Apotheker, Techniker u. s. w. Von Dr. **Arthur Meyer,** o. Prof. der Botanik u. Pharmakognosie an der Universität Marburg. Mit 8 Tafeln und 18 Figuren im Text. 1901. Preis: 6 Mark.

Süddeutsche Apotheker-Zeitung vom 8. 2. 1901:

. . . Die Art und Weise, in welcher der auf dem Gebiet der Pharmakognosie ja schon längst rühmlichst bekannte Professor der sich gestellten Aufgabe gerecht geworden ist, ist so eigenartig, dass das Werk wohl überall die günstigste Aufnahme finden wird . . .

Erstes mikroskopisches Praktikum. Eine Einführung in den Gebrauch des Mikroskopes und in die Anatomie der höheren Pflanzen. Zum Gebrauche in den botanischen Laboratorien und zum Selbstunterrichte. Für Botaniker, Chemiker, Pharmaceuten, Studierende des höheren Lehramtes und Zoologen. Von Dr. **Arthur Meyer,** o. Prof. der Botanik und Pharmakognosie an der Univ. Marburg. Mit 29 Abbildungen. 1898. Preis: 2 Mark 40 Pf., geb. 3 Mark.

Naturwissenschaftliche Wochenschrift einschliesslich der Zeitschrift „Die Natur“ (Halle a. S.) seit 1. April 1902. „Organ der deutschen Gesellschaft für Volkstümliche Naturkunde in Berlin.“ Herausgegeben von Prof. Dr. **H. Potonié** und Oberlehrer Dr. **F. Koerber** in Grosslichterfelde-W. b. Berlin. Preis: halbjährlich 4 Mark

Trotz des reichen Inhalts der Zeitschrift ist der Preis so billig angesetzt worden, um jedem zu ermöglichen, eine naturwissenschaftliche Zeitschrift selbst zu halten. Probenummern sind durch jede Buchhandlung oder von der Verlagsbuchhandlung unentgeltlich zu beziehen.

Die Kulturgewächse der deutschen Kolonien und ihre Erzeugnisse. von Prof. Dr. **R. Sadebeck,** Direktor des botanischen Museums und des botanischen Laboratoriums für Warenkunde zu Hamburg. Für Studierende und Lehrer der Naturwissenschaften, Plantagenbesitzer, Kaufleute und alle Freunde kolonialer Bestrebungen. Nach dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse bearbeitet. Mit 127 Abbildungen. 1899. Preis: 10 Mark, geb. 11 Mark.

Verlag von Gustav Fischer in Jena.

Bisher erschienen Lieferung 1 bis 3 vom

Handbuch der Laubholzkunde. Charakteristik der in Mitteleuropa heimischen und im Freien angepflanzten angiospermen Gehölz-Arten und Formen mit Ausschluss der Bambuseen und Kakteen. Von **Camillo Carl Schneider.** Die Ausgabe erfolgt in Lieferungen von je 4 Mark.

Praktikum für morphologische und systematische Botanik. Hilfsbuch bei praktischen Uebungen und Anleitung zu selbständigen Studien in der Morphologie und Systematik der Pflanzenwelt. Von Prof. Dr. **Karl Schumann,** weil. Kustos am Königl. Botanischen Museum und Privatdozent an der Universität zu Berlin. Mit 154 Figuren im Text. Preis: 13 Mark, geb. 14 Mark.

Das kleine botanische Praktikum für Anfänger. Anleitung zum Selbststudium der Mikroskopischen Botanik und Einführung in die mikroskopische Technik, von Prof. Dr. **Eduard Strasburger.** Vierte umgearbeitete Auflage. Mit 128 Holzschnitten. 1904. Preis: 6 Mark, geb. 7 Mark.

Das botanische Praktikum. Anleitung zum Selbststudium der Mikroskopischen Botanik für Anfänger und Geübtere, zugleich ein Handbuch der mikroskopischen Technik, von Prof. Dr. **Eduard Strasburger.** Vierte umgearbeitete Auflage. Mit 230 Holzschnitten. 1902. Preis: 20 Mark, geb. 22 Mark 50 Pf.

Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. Von Dr. **A. F. W. Schimper,** a. o. Prof. an der Universität Bonn. Mit 502 als Tafeln oder in den Text gedruckten Abbildungen in Autotypie, 5 Tafeln in Lichtdruck und 4 geographischen Karten. 1898. Preis: brosch. 27 Mark, eleg. in Halbfranz geb. 30 Mark.

Oesterr. botanische Zeitschrift, Nr. 1, 1899:

Ein prächtiges Werk, das uns insbesondere die Resultate der Anpassungserscheinungen in den Tropen in Wort und Bild vor Augen führt ... Glänzend ist die illustrative Ausstattung des Werkes. Die Mehrzahl der Abbildungen besteht aus Reproduktionen photographischer Aufnahmen von Vegetationsbildern aus allen Teilen der Erde, die der Verfasser zum Teil selbst anfertigte, zum Teil mit viel Emsigkeit sich zu beschaffen wusste. Die Abbildungen allein liefern ein pflanzengeographisches und allgemein geographisches Material von grösstem Wert.

Soeben erschien:

Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. Von Dr. **Eduard Strasburger,** o. ö. Prof. an der Universität Bonn, Dr. **Fritz Noll,** Prof. a. d. Landw. Akad. Poppelsdorf u. a. o. Prof. a. d. Univ. Bonn, Dr. **Heinrich Schenck,** Prof. a. d. Technischen Hochschule Darmstadt, Dr. **George Karsten,** a. o. Prof. a. d. Univ. Bonn. Siebente, umgearbeitete Auflage. Mit 752 zum Teil farbigen Abbildungen. 1905. Preis: brosch. 7 Mark 50 Pf., geb. 8 Mark 50 Pf.

Ueber die gegenwärtige Lage des Biologischen Unterrichts an höheren Schulen. Verhandlungen der vereinigten Abteilungen für Zoologie, Botanik, Geologie, Anatomie und Physiologie der 73. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte am Mittwoch, den 25. September 1901 im grossen Hörsaal des Naturhistorischen Museums in Hamburg. Preis: 1 Mark.

Die moderne Weltanschauung und der Mensch. Sechs öffentliche Vorträge. Von Dr. **Benjamin Vetter,** weil. Prof. an der Kgl. sächs. techn. Hochschule in Dresden. Mit einem Vorwort des Herrn Prof. Dr. E. Haeckel in Jena. Vierte Auflage. 1902. Preis: steif brosch. 2 Mark, geb. 2 Mark 50 Pf.

Vor kurzem erschien die **zweite verbesserte Auflage** von:

Vorträge über Descendenztheorie, gehalten an der Universität Freiburg i. B. Von Prof. **August Weismann.** Mit 3 farbigen Tafeln und 131 Textfiguren. **Zweite verbesserte Auflage.** Preis: brosch. 10 Mark, geb. 12 Mark.

Frankfurter Zeitung Nr. 287, vom 16. Okt. 1902 sagt über die erste Auflage:

Wenn ein Naturforscher von der Bedeutung Weismanns, der während eines langen Lebens über die tiefsten Probleme der Biologie geforscht, gedacht und geschrieben hat, ein umfangreiches Werk über die Abstammungslehre erscheinen läßt, so sollte dies nicht nur die Fachgelehrten angehen, sondern es sollte ein Ereignis für die ganze gebildete Welt sein.

Frommann'sche Buchdruckerei (Hermann Pohle) in Jena. — 2854

U.C. BERKELEY LIBRARIES
C026123162